



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학박사 학위논문

무지개, 달무리, 코로나 현상에 대한
예비교사의 과학적 이해 향상을
위한 실험 수업 개발

**Experimental lesson development for
improving Pre-service teachers' scientific
understanding of rainbow, halo, corona**

2015년 2월

서울대학교 대학원

과학교육과 물리전공

허재혁

무지개, 달무리, 코로나 현상에 대한 예비교사의 과학적 이해 향상을 위한 실험 수업 개발

지도교수 전 동 렬

이 논문을 교육학박사 학위논문으로 제출함
2014년 10월

서울대학교 대학원
과학교육과 물리전공
허 재 혁

허재혁의 박사 학위논문을 인준함
2014년 12월

위 원 장 이 경 호 (인)

부위원장 전 동 렬 (인)

위 원 이 성 목 (인)

위 원 김 재 순 (인)

위 원 권 경 필 (인)

국문초록

중, 고등학교 과학 교육과정의 목표는 국가와 시대에 따라 차이가 있다. 그럼에도 공통적으로 과학 개념의 이해, 자연을 과학적으로 탐구하거나 이해하는 능력, 자연 현상과 과학 학습에 대한 흥미와 호기심, 일상생활의 문제를 과학적으로 해결하려는 태도, 과학 지식과 탐구 방법을 활용한 합리적 의사 결정 능력 등을 기르는 것을 포함하고 있다. 이를 통해 국가와 시대에 걸쳐 과학 개념의 이해와 더불어 자연 현상을 과학적으로 탐구하거나 이해하는 능력은 늘 강조되고 있음을 알 수 있다.

대부분의 자연 현상은 많은 변인들로 인하여 과학적으로 탐구하거나 이해하기가 쉽지 않다. 이를 학생들에게 설명하기 위한 많은 방법들 중에 예시현상을 이용한 방법이 있다. John(2007)에 의하면 예시현상이란 개념을 소개하고 설명하며 평가하기 위하여 복잡한 현상을 이상적인 경우로 상정하여 단순화한 현상이다. 통념적으로 과학 개념을 잘 이해하면 자연에 대한 과학적 탐구와 이해에 긍정적인 영향을 줄 것으로 기대한다. 따라서 자연현상에 대한 예시현상을 연구하는 것은 학생들이 가지고 있는 물리 개념을 연구하기 위한 좋은 방법이다.

일반적으로 광학은 다른 과학 분야들에 비해 실생활에 밀접하게 관련되어 있기 때문에 학생들이 호기심을 많이 가지는 영역이다. 특히 무지개, 달무리, 코로나와 같은 분광 현상은 관찰이 용이한 자연현상으로 대부분의 사람들이 아름다움을 느끼기 때문에 관심을 보인다. 1차 무지개, 달무리 현상은 빛의 일반적인 성질인 반사, 굴절 등의 기하 광학적 성질로 설명이 가능하고 코로나 현상은 회절 등의 파동 광학적 성질로 설명이 가능하다.

현재 이재봉(2004) 등의 빛의 분광(스펙트럼)에 대한 교사와 중학생의 개념 유형을 분석하는 내용의 선행 연구는 있으나 무지개, 달무리, 코로나와 같은 자연현상에 관한 학생 및 예비교사들의 이해수준 및 그 원인을 연구한 논문은 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 먼저 무지개, 달무리, 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대한 예비교사들의 이해수준을 조사하고 그 원인을 분석하였다. 그리고 달무리, 코로나와 관련한 육각 프리즘 실험 및 달에 의한 코로나 예시현상 실험을 개발·적용하여 빛과 상에 대한 개념 및 달무리, 코로나의 이해에 각각 어떠한 효과가 있는지 분석하였다. 이를 위해 서울소재 사범대학 물리교육 전공 학생 13명에게 직접 개발한 검사지를 설문하였다.

무지개, 달무리, 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대한 예비교사의 이해수준을 조사한 결과 대체로 낮은 것으로 나타났다. 달무리와 무지개를 과학적으로 이해하고 있는 예비교사는 1명밖에 없었으며, 코로나 현상을 과학적으로 이해하고 있는 예비교사도 2명밖에 없었다.

무지개, 달무리, 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대한 이해수준이 낮은 이유는 다음과 같다. 첫째, 대부분의 예비교사들은 상에 대한 개념이 부족하여 광선 추적을 하는데 어려움을 느꼈다. 둘째, 대부분의 예비교사들은 눈에 대한 이해가 부족하여 입자의 개수가 많아지는 것에 어려움을 느꼈다. 셋째, 상에 대한 개념과 눈에 대한 이해의 부족으로 인하여 무지개를 설명하는 교과서를 이해하기에 어려움이 있었다.

달무리, 코로나와 관련한 육각 프리즘 실험 및 달에 의한 코로나 예시현상 실험을 개발·적용해 본 결과 육각 프리즘 실험에 의해 상에 대한 개념이 과학적이지 않은 12명의 예비교사들 중 10명이 상에 대한 과학적인 개념을 가지게 되는데 큰 도움을 받은 것으로 나타났다. 그러나 달무리를 과학적으로 이해하는 예비교사의 수는 변함이 없었다. 코로나 예시현상 실험은 상에 대한 과학적인 개념뿐만 아니라 눈의 특성을 이해하는데도 도움을 주어 코로나에 대한 이해가 부족한 11명의 예비교사들 중 6명의 예비교사들이 코로나를 이해하는데 도움을 받은 것으로 나타났다.

이는 관측 상황과 관측의 실재성만 고려한 육각 프리즘 실험은 예비교사들의 달무리 현상 이해에 도움을 주지 못한 반면 관측 상황, 입자의 개수, 관측의 실재성을 고려한 코로나 예시현상 실험은 예비교사들이 코

로나 현상을 이해하는데 큰 도움을 주는 것으로 볼 수 있다. 따라서 학생들에게 자연 현상에 대한 이해 및 탐구를 목적으로 실험을 개발할 때는 관측 상황, 입자의 개수, 관측의 실재성을 고려해야 한다.

무지개, 달무리, 코로나는 실생활 속에서 흔히 접할 수 있고 특히 무지개는 교과서에 수록되어 있어 우리에게 매우 친숙한 자연현상이다. 그럼에도 불구하고 연구에 참여한 대부분의 예비교사들의 이해 수준이 낮다는 점은 문제가 있다고 생각할 수 있다. 그러나 연구 과정에서 세 현상과 관련된 실험을 통해 예비교사의 이해도가 향상되고 상과 빛에 대한 과학적인 개념이 형성됨을 확인할 수 있었다. 그러므로 “자연을 과학적으로 탐구하거나 이해하는 능력 배양”이라는 교육 목표를 달성하기 위해서는 자연 현상에 관한 다양한 실험 개발과 더불어 이에 관한 많은 연구 및 교재 개발에 힘써야 할 것이다.

본 연구에서 개발한 코로나 예시현상 실험은 코로나라는 복잡한 자연현상을 실험실에서 탐구하고 그 원리를 간단하게 설명할 수 있게 하는 실험으로 학생들에게 물리에 대한 호기심을 끌기에 충분하다. 또한 파동광학 영역에 속하는 내용으로 기하 광학 영역에 치우쳐 있는 현행 교육과정에서 학생들이 빛의 파동성을 인지하게 할 수 있는 적절한 주제의 실험이라 할 수 있다. 따라서 빛의 파동성에 의한 현상인 회절과 코로나 현상을 이해하는데 큰 도움을 줄 것으로 기대하는 바이다.

주요어 : 분광, 무지개, 달무리, 코로나, 이해, 예시현상

학 번 : 2009-23417

목 차

초 록	i
목 차	iv
표 목차	vi
그림 목차	ix
 1. 서 론	 1
1.1. 연구의 동기와 필요성	1
1.2. 연구의 목적 및 문제	3
1.3. 용어의 정의	4
1.4. 연구의 한계	7
 2. 이론적 배경 및 선행연구	 8
2.1. 무지개, 달무리, 코로나의 이론적 배경	8
2.2. 무지개, 달무리 이해의 과학사적 고찰	25
2.3. 빛의 입자 모형과 파동 모형	28
2.4. 선행 연구	33
2.5. 2009 개정 교육 과정 ‘빛’ 단원 내용	49
 3. 연구 방법	 61
3.1. 연구 대상 및 연구 방법	61
3.2. 연구 절차	74
3.3. 검사 문항	77
3.4. 문항 분석틀	89

4. 연구1: 무지개, 달무리, 코로나 이해수준	93
4.1. 예비교사들의 이해수준	93
4.2. 낮은 이해수준의 원인	111
4.3. 결과	121
5. 연구2: 달무리, 코로나 실험 수업의 효과	128
5.1. 달무리, 코로나 관련 실험 개발	128
5.2. 실험 수업 방법 및 효과	144
5.3. 결과	152
6. 요약 및 결론	154
6.1. 요약	154
6.2. 결론 및 시사점	156
참고문헌	158
Abstract	171
부록	173

표 목 차

[표 1-1] 2009 개정 교육과정 중학교 과학 교육의 목표	2
[표 1-2] 무지개와 무지개 예시현상 비교	4
[표 1-3] 현상에 대한 이해수준	5
[표 2-1] 이해수준 분류	43
[표 2-2] 2007 개정 교육과정에서의 8학년 내용	49
[표 2-3] 2007 개정 교육과정 교과서에 제시된 분산 이미지 ...	50
[표 2-4] 일반물리학 교재에서의 빛의 분산	52
[표 2-5] 2009 개정 교육과정에서의 빛 내용 체계	53
[표 2-6] 2009 개정 교육과정 교과서에서의 빛의 분산	58
[표 2-7] 2009 개정 교육과정에서의 중학교 과학교육의 목표 ·	59
[표 3-1] 문항에서 요구하는 예비 교사들의 추론	68
[표 3-2] 현상에 대한 이해수준 분석틀	69
[표 3-3] 현상에 대한 이해수준	70
[표 3-4] 이해수준을 조사하기 위한 문항	71
[표 3-5] 연구1의 연구 절차	75
[표 3-6] 연구2의 연구 절차	77
[표 3-7] 달무리와 코로나 배경지식 검사지	79
[표 3-8] 사진 검사 및 본 검사 문항	80
[표 3-9] 무지개와 관련한 본 검사지	82
[표 3-10] 달무리와 관련한 본 검사지	83
[표 3-11] 코로나와 관련한 본 검사지	84
[표 3-12] 육각프리즘 실험 활동지	86
[표 3-13] 코로나 예시현상 실험 활동지	87

[표 3-14] 사후 검사지	88
[표 3-15] 학생들의 답변 유형 분석틀	89
[표 3-16] 과학적인 답변과 비과학적인 답변의 구분 예시	90
[표 3-17] 이해 수준 분석틀	91
[표 3-18] 무지개와 달무리 답변 비교틀	92
[표 4-1] 달무리의 선개념 응답 분포	93
[표 4-2] 6번 참여자와의 인터뷰	94
[표 4-3] 달무리에서 관찰되는 분광의 원리	95
[표 4-4] 분광의 원리	95
[표 4-5] 무지개에서 관찰되는 분산의 응답 유형	97
[표 4-6] 무지개에서 관찰되는 분광의 이해수준	97
[표 4-7] S_1S_2 유형의 응답	98
[표 4-8] N_1S_2 유형의 응답	99
[표 4-9] S_1N_2 유형의 응답	100
[표 4-10] N_1N_2 유형의 응답	101
[표 4-11] 달무리의 응답 유형	102
[표 4-12] 달무리에서 관찰되는 분광의 이해수준	102
[표 4-13] S_1S_2 유형의 응답	103
[표 4-14] N_1S_2 유형의 응답	104
[표 4-15] S_1N_2 유형의 응답	105
[표 4-16] N_1N_2 유형의 응답	106
[표 4-17] 코로나의 응답 유형답	107
[표 4-18] 코로나에서 관찰되는 분광의 이해수준	107
[표 4-19] S_1S_2 유형의 응답	108
[표 4-20] S_1N_2 유형의 응답	109
[표 4-21] N_1N_2 유형의 응답	110

[표 4-22] Q1 문항에 대한 과학적 이해의 비율	111
[표 4-23] Q1 문항에 대한 답변	112
[표 4-24] Q2를 과학적으로 이해하는 예비 교사	113
[표 4-25] Q1을 과학적으로 이해한 예비 교사의 Q2 답변	114
[표 4-26] Q1과 Q2를 과학적으로 이해하는 예비 교사	115
[표 4-27] 연구 참여자 8과의 인터뷰	117
[표 4-28] 무지개와 달무리 답변의 일관성 분석틀	118
[표 4-29] 연구참여자 3의 응답	119
[표 4-30] 연구참여자 8의 응답	119
[표 4-31] 연구 참여자 13과의 인터뷰	120
[표 4-32] 분광에 관한 설명(2009개정 신사고 교과서)	121
[표 4-33] 분광에 관한 설명(싱가포르 교과서)	122
[표 5-1] 마스크 설명	133
[표 5-2] 육각 프리즘 실험 결과 설명	137
[표 5-3] 실험 결과	139
[표 5-4] 실험 결과 분석	140
[표 5-5] 회절 무늬의 크기	142
[표 5-6] 실험 수업 수행 순서	144
[표 5-7] 연구 참여자 13과의 인터뷰	146
[표 5-8] 상에 대한 과학적인 개념	146
[표 5-9] 상에 대한 개념 변화 예시	147
[표 5-10] 육각 프리즘 실험 전후 비교	148
[표 5-11] 연구 참여자 8과의 인터뷰	149
[표 5-12] 상에 대한 과학적인 개념	149
[표 5-13] 코로나 설명의 변화	150
[표 5-14] 코로나 예시현상 실험 전후 비교	151

[표 5-15] 각 문항에 과학적인 답변을 한 예비 교사의 수	152
[표 5-16] 육각 프리즘 실험과 코로나 예시현상 실험 비교	153
[표 5-17] 사후 검사지 답변	153
[표 6-1] 육각 프리즘 실험과 코로나 예시현상 실험 비교	155

그 립 목 차

[그림 2-1] 무지개	8
[그림 2-2] 하나의 물방울에 의한 분산	9
[그림 2-3] 물방울을 통과하는 광선의 모식도	9
[그림 2-4] 10℃ 물의 ϕ 에 따른 γ 값	10
[그림 2-5] 무지개가 지면과 이루는 각도	11
[그림 2-6] 무지개 관찰의 원리	12
[그림 2-7] 무지개 인식의 원리	13
[그림 2-8] 달무리	14
[그림 2-9] 육각 빙정에 의한 굴절	15
[그림 2-10] 빙정을 통과하는 광선 모식도	16
[그림 2-11] 얼음 빙정의 굴절률	17
[그림 2-12] 22도 달무리	18
[그림 2-13] 달무리 인식 원리	19
[그림 2-14] 코로나	20
[그림 2-15] 물방울에 의한 회절	21
[그림 2-16] $\frac{I(\theta)}{I(0)}$ 의 그래프	22
[그림 2-17] 코로나 관찰의 원리	23
[그림 2-18] 데카르트의 설명	26
[그림 2-19] 뉴턴의 프리즘 실험	27
[그림 2-20] 빛의 직진 현상	29
[그림 2-21] V. Byers와 N. Herscovics의 4면체 모델	40
[그림 2-22] 현상과 개념의 관계	42

[그림 2-23] 개념 확장	47
[그림 2-24] 개념 연결	47
[그림 2-23] 개념 분화	48
[그림 2-24] 개념 급변	48
[그림 3-1] 달무리, 무지개 코로나에서 관찰되는 분광을 이해하기 위한 기본 원리	62
[그림 3-2] 금성 출판사의 프리즘에 의한 분산 그림	63
[그림 3-3] 교학사 물리1 교과서의 회절 그림	63
[그림 3-4] 교과서에서 제시된 프리즘과 무지개 그림 분류	64
[그림 3-5] 현상 분류틀	65
[그림 3-6] 프리즘, 무지개 현상 분류	66
[그림 3-7] 사전 검사 및 본 검사 문항	67
[그림 3-8] 달무리 관련 육각 프리즘 실험	72
[그림 3-9] 코로나 예시현상 실험	73
[그림 3-10] 본 검사의 1번 문제(Q1)와 2번 문제(Q2)	81
[그림 4-1] 분산을 분광의 원리라고 답한 예비교사의 설명	96
[그림 4-2] 회절을 분광의 원리라고 답한 예비교사의 설명	96
[그림 4-3] Q1, Q2를 과학적으로 이해하고 있는 예비 교사 ...	116
[그림 4-4] 자연 현상과 원리의 관계	122
[그림 4-5] 상에 대한 개념과 분류틀	123
[그림 4-6] 금성 출판사의 프리즘에 의한 분산 그림	124
[그림 4-7] 싱가포르 교과서의 프리즘에 의한 분산 그림	124
[그림 4-8] 눈에 대한 이해와 분류틀	125
[그림 4-9] 눈의 특성	126
[그림 4-10] 대부분 교과서의 무지개 설명	126
[그림 4-11] 제안하는 무지개 설명 방법	126

[그림 4-12] 자연 현상 이해에 필요한 개념	127
[그림 5-1] 달무리 관련 육각프리즘 실험	129
[그림 5-2] 코로나 예시현상 실험	130
[그림 5-3] 금성출판사 교과서의 물프리즘	131
[그림 5-4] 육각 프리즘 실험 모식도	132
[그림 5-5] 실험 방법	133
[그림 5-6] 분석 방법	135
[그림 5-7] θ 와 Δx 정의	136
[그림 5-8] 첫 번째, 두 번째, 세 번째 어두운 회절 무늬	141

I. 서론

1.1. 연구의 동기와 필요성

중, 고등학교 과학 교육과정의 목표는 국가와 시대에 따라 차이가 있다. 그럼에도 공통적으로 과학 개념의 이해, 자연을 과학적으로 탐구하거나 이해하는 능력, 자연 현상과 과학 학습에 대한 흥미와 호기심, 일상생활의 문제를 과학적으로 해결하려는 태도, 과학 지식과 탐구 방법을 활용한 합리적 의사 결정 능력 등을 기르는 것을 포함하고 있다. 이를 통해 국가와 시대에 걸쳐 과학 개념의 이해와 더불어 자연 현상을 과학적으로 탐구하거나 이해하는 능력은 늘(항상) 강조되고 있음을 알 수 있다.

대부분의 자연 현상은 많은 변인들로 인하여 과학적으로 탐구하거나 이해하기가 쉽지 않다. 이를 학생들에게 설명하기 위한 많은 방법들 중에 예시현상을 이용한 방법이 있다. John(2007)에 의하면 예시현상이란 개념을 소개하고 설명하며 평가하기 위하여 복잡한 현상을 이상적인 경우로 상정하여 단순화한 현상이다. 통념적으로 과학 개념을 잘 이해하면 자연에 대한 과학적 탐구와 이해에 긍정적인 영향을 줄 것으로 기대한다. 따라서 자연현상에 대한 예시현상을 연구하는 것은 학생들이 가지고 있는 물리 개념을 연구하기 위한 좋은 방법이다.

이인호(2006)는 일반적으로 광학은 다른 과학 분야들에 비해 실생활에 밀접하게 관련되어 있기 때문에 학생들이 호기심을 많이 가지는 영역이라고 하였다. 김희경(2011), 허재혁(2012) 등에 의하면 특히 무지개, 달무리, 코로나와 같은 분광 현상은 관찰이 용이한 자연현상으로 대부분의 사람들이 아름다움을 느끼기 때문에 관심을 보인다. 1차 무지개, 달무리 현상은 빛의 일반적인 성질인 반사, 굴절 등의 기하 광학적 성질로 설명이 가능하며, 코로나 현상은 회절 등의 파동 광학적 성질로 설명이 가능하다.

현재 초등학교, 중학교, 고등학교는 2009년에 개정된 교육과정(이하 2009 개정 교육과정)을 따르는 교과서로 배우고 있으며, 빛의 분광과 관련된 내용은 중학교에서 다루고 있다. 2009 개정 교육과정에서의 중학교 과학 교육의 목표는 표 1-1과 같다.

[표 1-1] 2009 개정 교육과정에서의 중학교 과학 교육의 목표

과학 교육의 목표
<p>가. 자연 현상을 탐구하여 과학의 기본 개념을 이해한다.</p> <p>나. 자연 현상을 과학적으로 탐구하는 능력을 기른다.</p> <p>다. 자연 현상에 대한 흥미와 호기심을 갖고, 문제를 과학적으로 해결하려는 태도를 기른다.</p> <p>라. 과학, 기술, 사회의 관계를 인식한다.</p>

사람들이 흥미와 호기심을 가지는 자연 현상인 무지개, 달무리, 코로나 현상을 교육에 활용하여 빛과 상에 대한 과학적인 개념을 가지게 하고, 관련 실험을 통해 자연 현상을 과학적으로 탐구하는 능력을 기르는 것은 교육의 목표에 매우 부합한다고 할 수 있다. 만약 자연현상이 지나치게 복잡하여 교육에 직접적으로 활용하는데 한계가 있다면 이상적인 경우를 상정하여 단순화한 현상인 예시현상을 이용할 수도 있다.

현재 이재봉(2004) 등이 연구한 빛의 분광(스펙트럼)에 대한 교사와 중학생의 개념 유형을 분석하는 내용의 선행 연구는 있지만 무지개, 달무리, 코로나와 같은 자연현상에 관한 학생 및 예비교사들의 이해수준 및 그 원인을 연구한 논문은 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 달무리, 무지개, 코로나에서 관찰되는 분광에 대한 예비교사들의 이해수준과 그 원인을 조사하고, 실험 수업을 개발·적용하여 그 효과를 알아보고자 한다.

1.2. 연구의 목적 및 문제

무지개, 달무리, 코로나는 대부분의 사람들이 아름다움을 느끼고 관심을 보이는 현상으로 자연에서 관찰되는 분광의 대표적인 예이다. 분광 현상은 관찰이 용이한 빛의 성질이며 뉴턴은 이러한 빛의 성질을 밝히기 위해 다양한 분광 실험을 하였다. 오늘날 분광은 원소의 스펙트럼 분석 등의 방법으로 어떤 물질의 성분 및 성질을 알아내기 위한 과학 연구의 한 측정 방법으로 자리 잡기에 이르렀다.

자연에서 관찰되는 분광 현상을 설명하기 위해서는 분산, 회절에 대한 과학적인 개념뿐만 아니라 빛과 상에 대한 과학적인 개념이 있어야 한다. 이에 본 연구에서는 무지개, 달무리, 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대한 예비교사들의 이해수준을 조사하고 그 원인을 분석하겠다. 또한, 달무리, 코로나와 관련한 육각 프리즘 실험 및 달에 의한 코로나 예시현상 실험을 개발·적용하여 빛과 상에 대한 개념 및 달무리, 코로나의 이해에 각각 어떠한 효과가 있는지 분석하겠다. 이를 위한 본 연구의 구체적인 연구 문제는 아래와 같다.

1. 무지개, 달무리, 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대한 예비교사들의 이해수준은 어떠하며, 그 원인은 무엇인가?
2. 달무리, 코로나와 관련한 육각 프리즘 실험과 코로나 예시현상 실험은 예비교사들의 이해에 어떤 도움을 주는가?

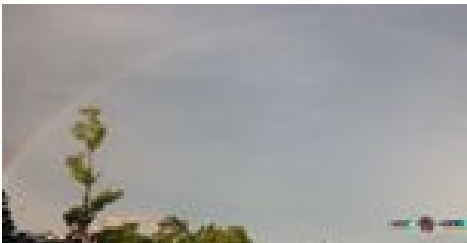
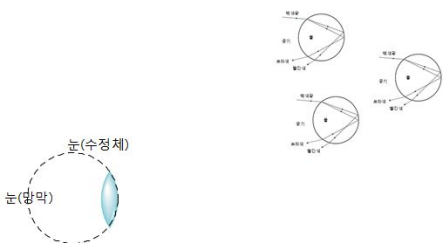
1.3. 용어의 정의

1) 예시현상(example phenomenon)

개념을 소개하고 설명하며 평가하기 위하여 다양한 예가 사용된다. 조광희(2010)는 ‘예’는 실제로 개념의 속성을 포함하는 대표적인 현상이나 사물을 뜻하며, 예를 개념과 관련지어 제시하거나 설명하는 과정까지 언급해야 할 때에는 ‘예시’라고 하였다. John(2007)은 ‘예시현상’은 개념을 소개하고 설명하며 평가하기 위하여 복잡한 현상을 이상적인 경우를 상정하여 단순화한 현상이라고 하였다.

본 연구에서는 예비교사들의 이해수준을 조사하기 위해 예시현상을 이용하였고, 실험실에서 변인을 조작하며 실험할 수 있는 코로나 예시현상 실험을 개발하였다. 이는 현상을 보다 단순화한 예시현상이 예비교사들의 개념을 평가하는 등의 과정을 거치는 본 연구에 더 적합하기 때문이다. 표 1-2는 본 연구의 무지개와 무지개 예시현상을 비교하여 제시한 것이다.

[표 1-2] 무지개와 무지개 예시현상 비교

무지개	무지개 예시현상
<ul style="list-style-type: none"> · 복잡한 현상 	<ul style="list-style-type: none"> · 개념을 소개하고 설명하기 위해 단순화한 현상 

2) 현상에 대한 이해수준(level of understanding)

양찬호(2011)를 참고하면 현상에 대한 이해수준은 표 1-3과 같이 피상적 이해와 심층적 이해로 분류할 수 있다. 피상적 이해는 대안적인 개념으로 현상을 이해하는 것으로 개념과 현상은 서로 분리되어 있다. 반면 심층적 이해는 과학적인 개념으로 현상을 이해하는 것으로 개념과 현상은 서로 유기적으로 연계되어 있다. 본 연구에서 현상에 대한 이해 수준을 피상적 이해와 심층적 이해로 나눈 것은 현상에 대한 심층적 이해만이 현상을 과학적으로 이해하고 있는 것으로 보았기 때문이다.

[표 1-3] 현상에 대한 이해수준

현상에 대한 피상적 이해	현상에 대한 심층적 이해
<ul style="list-style-type: none">· 개념과 현상의 분리· 대안적인 개념으로 현상을 이해	<ul style="list-style-type: none">· 개념과 현상의 연계· 과학적인 개념으로 현상을 이해

3) 분광(spectrum)

햇빛과 같이 여러 색깔의 빛이 합쳐지면 백색으로 보이는데 이것을 백색광이라고 하고, 백색광은 프리즘 또는 회절 격자에 의해 여러 가지 색으로 나누어지는데 이를 빛의 분광 또는 스펙트럼이라고 한다.

4) 분산(dispersion)

진공 이외의 매질에서 빛의 굴절률은 빛의 파장에 따라 다르다. 이것은 광선이 여러 파장들로 구성되어 있을 때 굴절되는 표면에서 각각 다른 각도로 굴절된다는 뜻이다. 즉, 빛이 굴절에 의해 퍼지게 된다. 이러한 빛의 퍼짐을 분산이라고 부른다. 일반적으로 주어진 매질의 굴절률은 긴 파장보다는 짧은 파장의 빛에서 더 크다.

5) 회절(diffraction)

파동이 파장과 비슷한 크기의 구멍이 뚫린 장벽을 통과하면 장벽 너머로 퍼져나가는데 이것을 회절이라고 한다. 입자의 경우엔 구멍을 통과한 이후에 퍼지지 않고 직진하기 때문에 회절은 파동에서만 나타나는 특징이다. 회절이 되는 정도는 장애물의 크기와 파장과 관련되어 있다. 장애물의 크기가 파장에 비해 작을수록 회절이 잘 일어난다.

6) 상(image)

상은 실제 물체의 모습이 아닌 빛의 경로 변화에 의해 뇌가 인식하는 물체의 모습이다. 물체의 각 점광원에서 나온 빛이 매질의 변화로 인하여 경로가 변화하였을 때, 빛의 일부가 눈에 들어가 각막과 수정체의 의해 망막의 한 점으로 초점을 맺게 되면 망막에 수용된 시각 정보는 시세포에 의해 전기 신호로 전환되어 뇌에 전달되고 뇌는 이를 처리하여 인식하게 된다. 실상(real image)은 물체에서 나온 빛이 실제로 모여 형성된 상이며, 허상(virtual image)은 물체에서 나온 빛이 실제로는 모이지 않으나 이 빛이 관찰자의 눈에 들어왔을 때 빛의 연장에 의해 마치 빛이 모인 것처럼 인식되어 보이는 상이다.

7) 광원(light source)

광원은 스스로 빛을 발산하는 여부에 따라 1차 광원과 2차 광원으로 나누어진다. 1차 광원은 스스로 모든 방향으로 빛을 발산하고 2차 광원은 주변의 빛을 난반사하여 모든 방향으로 빛을 발산한다. 예를 들면 태양은 1차 광원, 달은 2차 광원이다.

1.4. 연구의 한계

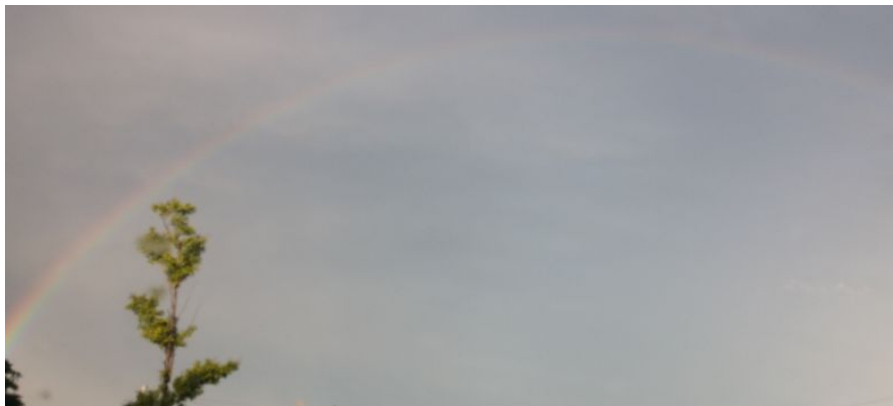
본 연구는 서울 소재 대학교에서 물리교육을 전공하고 있는 13명을 대상으로 하였다. 이들은 1학년 때 일반물리학을 수강하였고, 광학 수업을 수강 중인 2학년부터 4학년 학생들 중에서 연구에 참여를 희망한 지원자들로 구성되었다. 연구 참여자 모두 사범대에 재학 중이므로 예비 교사로 호칭하였다. 그러나 대부분의 연구 참여자들은 학부 2학년 또는 3학년에 재학 중으로 교사 양성 교육을 충분히 받았다고 보기는 어렵다. 그러므로 이 연구 결과를 예비 물리 교사만의 특징이라고 단정할 수는 없다. 또한 연구 참여자들은 특정 교사 양성 대학의 재학생이므로 국내 사범대학 물리교육 전공 학생들의 이해로 일반화하기에는 다소 무리가 있다.

Ⅱ. 이론적 배경 및 선행 연구

2.1. 무지개, 달무리, 코로나의 이론적 배경

2.1.1. 무지개의 원리

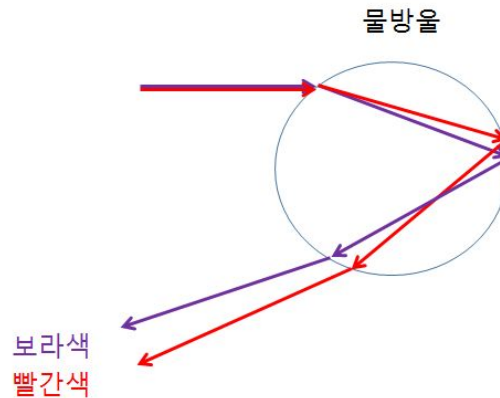
무지개는 1차 무지개와 1차 무지개보다 더 높은 하늘에서 볼 수 있는 2차 무지개 그리고 간혹 1차 무지개 안쪽이나 2차 무지개 바깥쪽에서 볼 수 있는 과잉무지개로 이루어진다. 흔히 관찰되는 무지개는 그림 2-1과 같은 1차 무지개로 지면에서 약 40도 위쪽에 형성되며 바깥쪽부터 차례대로 빨간색, 주황색, 노란색, 초록색, 파란색, 남색, 보라색의 7가지 색깔로 구성되어 있다. 본 논문에서는 언급하는 무지개는 1차 무지개를 의미한다.



[그림 2-1] 무지개

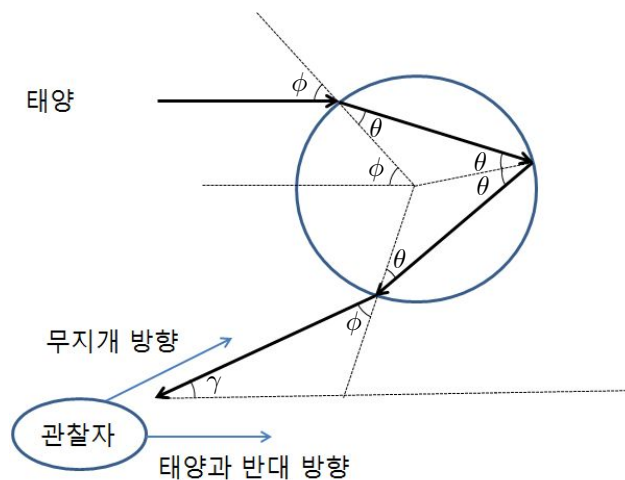
공기 중의 물방울로 태양빛이 입사하면서 굴절되고 물방울 내에서 한번 반사된 뒤 공기로 나오며 다시 굴절되는 과정에서 빛이 파장에 따라 그림 2-2처럼 분산되게 되는데, 1차 무지개는 공기 중의 무수한 물방울에

의해 이러한 과정이 일어나면서 형성된다.



[그림 2-2] 하나의 물방울에 의한 분산

1차 무지개를 기하학적으로 분석하기 위해서 물방울은 구형이고, 태양과 물방울의 거리는 충분히 멀어서 태양광은 평행광이며, 물방울의 지름은 빛의 파장에 비해서 충분히 크다고 가정한다. 그림 2-3은 위의 가정을 이용하여 1차 무지개가 나타나는 물방울을 통과하는 광선을 모식적으로 나타낸 것이다.



[그림 2-3] 물방울을 통과하는 광선의 모식도

물방울로 입사하는 광선과 법선이 이루는 각을 ϕ , 물방울에서의 굴절각을 θ , 공기의 굴절률을 n_{air} , 파장에 따른 물의 굴절률을 n_λ 라고 하면 굴절각 θ 는 스넬의 법칙에 의해 식 (1)과 같다.

$$\theta = \arcsin\left(\frac{n_{air}\sin\phi}{n_\lambda}\right) \quad (1)$$

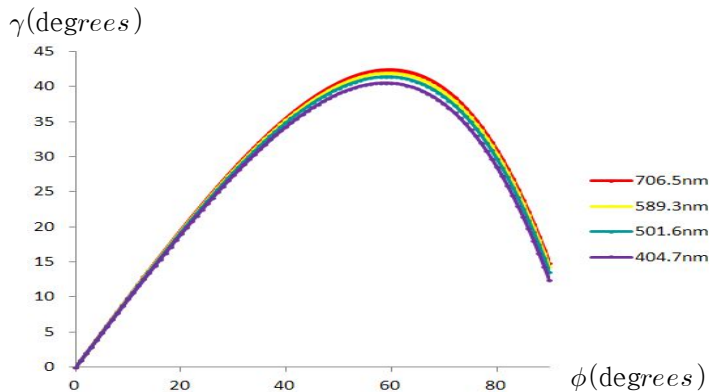
그림 2-4에 의하면 지면과 굴절된 광선이 이루는 각 γ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\gamma = 4\theta - 2\phi \quad (2)$$

식 (2)의 θ 의 값에 식 (1)을 대입하고 문제를 단순화하기 위하여 공기의 굴절률 $n_{air} = 1$ 이라고 하면, γ 는 다음 식을 만족한다.

$$\gamma(\phi, n_\lambda) = 4\arcsin\left(\frac{\sin\phi}{n_\lambda}\right) - 2\phi \quad (3)$$

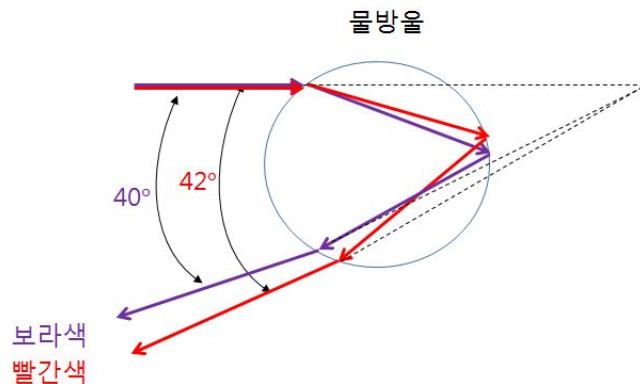
물의 온도가 10℃ 일 때의 굴절률 값을 대입하여 ϕ 에 따른 파장이 706.5 nm, 589.3 nm, 501.6 nm, 404.7 nm인 빛의 γ 를 그래프로 나타내면 그림 2-4와 같다.



[그림 2-4] 10℃ 물의 ϕ 에 따른 γ 값.

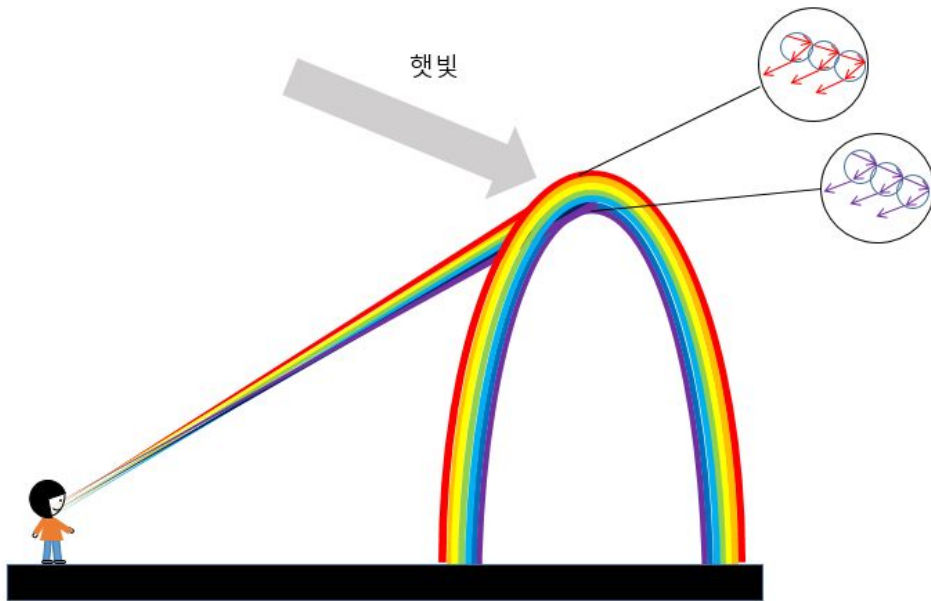
그래프에 따르면 ϕ 가 약 60°일 때 물방울에 의한 빛의 분산이 가장 잘 일어나며, 이때의 굴절된 광선과 지면이 이루는 각도 γ 는 빨간색은 약

42°, 보라색은 약 40°로 빛의 파장에 따라 차이가 있다. 따라서 그림 2-5와 같이 태양빛이 물방울에 입사하면 굴절-반사-굴절의 과정을 거치면서 빨간색이 보라색보다 지면과 이루는 각이 더 크게 빛의 분산이 일어나게 되고, 물방울을 통해 분산된 태양빛이 지면과 40~42°를 이루며 사람의 눈으로 입사할 때 사람은 무지개를 관측할 수 있다.



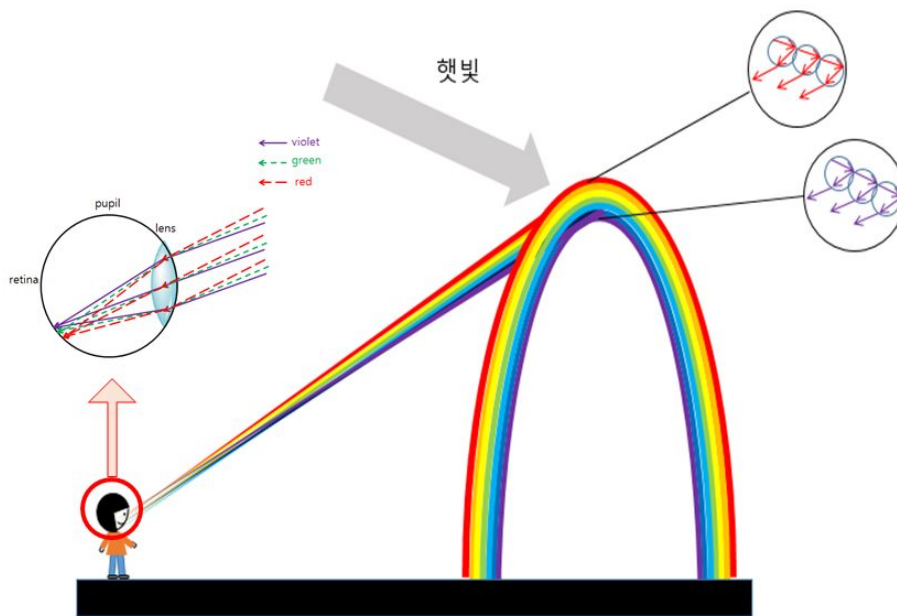
[그림 2-5] 무지개가 지면과 이루는 각도

실제 무지개는 공기 중의 무수히 많은 물방울에 의해 형성된다. 사람이 무지개를 관측할 수 있는 시야각 위쪽 연장선에 있는 물방울들에 의해 분산된 빛들 중 파장이 긴 빛은 더 적게 굴절 되어 사람의 시야각 범위 내에서 진행하고, 파장이 짧은 빛들은 더 많이 굴절 되어 시야각 바깥으로 벗어난다. 같은 원리로 시야각 아래쪽 연장선에 있는 물방울들에 의해 분산된 빛들 중 파장이 짧은 빛들은 많이 굴절되어 시야각 범위 내에서 진행하고, 굴절이 적게 된 파장이 긴 빛들은 시야각 바깥으로 벗어난다. 즉, 그림 2-6과 같이 무수히 많은 물방울에 의해 분산된 빛들이 관측자의 눈에 들어올 때는 무지개가 보이는 시야각의 위쪽 물방울에 의해 파장이 긴 빛이, 아래쪽 물방울에 의해 파장이 짧은 빛이 입사하게 되므로 결국 빨간색 빛은 눈의 위쪽으로, 보라색 빛은 눈의 아래쪽으로 입사하게 된다.



[그림 2-6] 무지개 관찰의 원리

그리하여 무한히 멀리 떨어진 무수히 많은 물방울에 의해서 분산된 광선들은 그림 2-7처럼 사람 눈에 들어오게 되고, 볼록렌즈의 역할을 하는 눈의 수정체에 의해 같은 각도로 입사하는 같은 파장의 빛들이 한 점으로 모여 망막에 맺힌다. 위쪽에서 입사하는 빨간색 빛들은 수정체에 의해 모여 망막의 아래쪽에 맺히게 되고, 아래쪽에서 입사하는 보라색 빛들은 망막의 위쪽에 맺히게 된다. 뇌는 망막에서 온 정보를 거꾸로 인식하므로 결국 사람은 제일 위쪽이 빨간색이고 아래쪽이 보라색인 무지개를 볼 수 있다.



[그림 2-7] 무지개 인식의 원리

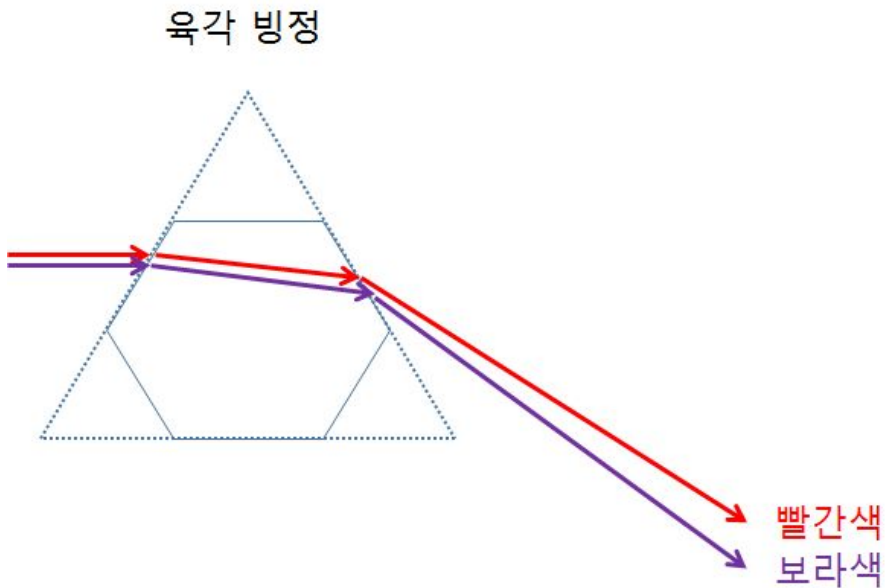
2.1.2. 달무리의 원리

추운 겨울에는 공기 중의 물방울들이 얼어 빙정이 되기 때문에 물방울에 의한 무지개를 관측하기가 어렵다. 대신 이 빙정에 의해 다른 자연 현상을 관측할 수 있다. 그림 2-8과 같이 정육각 기둥의 빙정에 의해 달 빛이 굴절하여 달 주위에 동그란 빛의 띠가 나타나는 현상을 헤일로(Halo) 또는 달무리라고 한다. 달무리는 달로부터 약 22° 떨어진 곳에 띠의 모양으로 생긴다. 22° 떨어진 곳에 띠가 생기는 이유는 최소편이각과 관련이 있다.



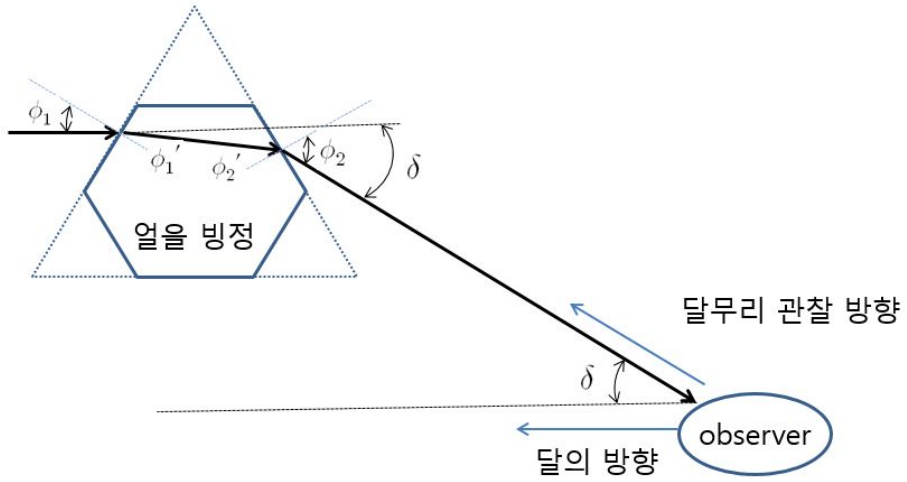
[그림 2-8] 달무리

달무리는 대기에 있는 얼음 빙정에 의한 굴절에 의해 생긴다. 보통 20 ~ 100 μm 의 육각 판 모양 얼음 빙정에 의해 생기는 달무리를 지상에서 관찰할 수 있다. 그림 2-9는 육각 판모양 빙정을 통과하는 광선을 나타낸 것이다. 육각빙정에 의한 빛의 굴절은 정삼각 프리즘에 의한 굴절과 유사하다.



[그림 2-9] 육각 빙정에 의한 굴절

달무리를 기하학적으로 분석하기 위해서 빙정은 정육각형이고, 태양과 빙정의 거리는 충분히 멀어서 태양광은 평행광이며, 빙정은 빛의 파장에 비해서 충분히 크다고 가정한다. 그림 2-10은 위의 가정을 이용하여 달무리가 나타나는 빙정을 통과하는 광선을 모식적으로 나타낸 것이다.



[그림 2-10] 빙정을 통과하는 광선 모식도.

빙정으로 입사하는 광선과 법선이 이루는 각을 ϕ_1 , 그 굴절각을 ϕ_1' , 빙정에서 공기로 입사하는 광선을 ϕ_2' , 그 굴절각을 ϕ_2 , 굴절된 각이 지면과 이루는 각을 δ 라고 하면 그림 2-10에 의해 식 (4)와 (5)가 성립한다.

$$\delta = (\phi_1 - \phi_1') + (\phi_2 - \phi_2') = \phi_1 + \phi_2 - (\phi_1' + \phi_2') \quad (4)$$

$$\phi_1' + \phi_2' = 60^\circ \quad (5)$$

식 (4)에 식 (5)를 대입시키면 δ 는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\delta = \phi_1 + \phi_2 - 60^\circ \quad (6)$$

한편 공기의 굴절률을 n_{air} , 파장에 따른 빙정의 굴절률을 n_λ 라고 하면 스넬의 법칙에 의해 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_1'} = \frac{n_\lambda}{n_{air}} = \frac{\sin \phi_2}{\sin \phi_2'} \quad (7)$$

위의 식은 식 (8)과 (9)와 같이 정리할 수 있다.

$$\phi_1' = \arcsin\left(\frac{n_{air}}{n_\lambda} \sin \phi_1\right) \quad (8)$$

$$\phi_2 = \arcsin\left(\frac{n_\lambda}{n_{air}} \sin \phi_2'\right) \quad (9)$$

식 (9)에 식 (5)를 대입시키면 ϕ_2 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\phi_2 = \arcsin\left(\frac{n_\lambda}{n_{air}} \sin \phi_2'\right) = \arcsin\left(\frac{n_\lambda}{n_{air}} \sin(60^\circ - \phi_1')\right) \quad (10)$$

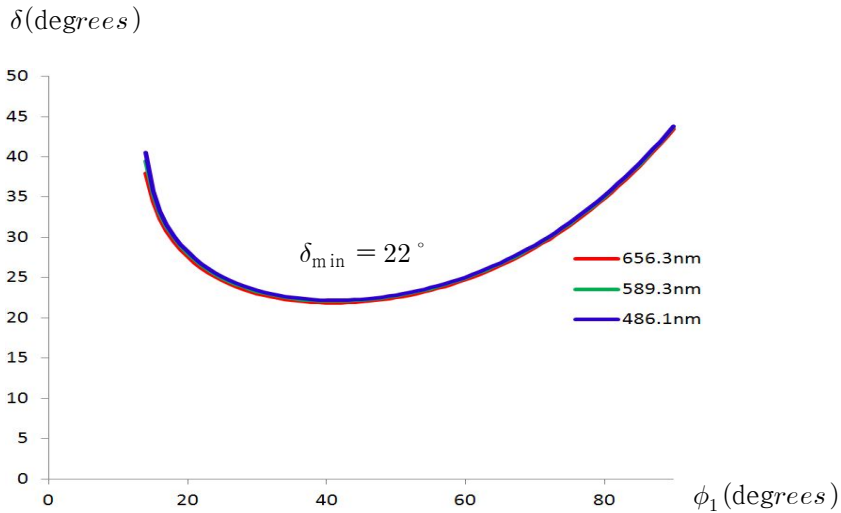
식 (10)에 식(8)을 대입시키면 ϕ_2 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\phi_2 = \arcsin\left(\frac{n_\lambda}{n_{air}} \sin(60^\circ - \arcsin(\frac{n_{air}}{n_\lambda} \sin \phi_1))\right) \quad (11)$$

위의 식에서 문제를 단순화하여 공기의 굴절률 $n_{air} = 1$ 이라고 하면, δ 는 식 (12)와 같이 표현할 수 있다.

$$\delta(\phi_1, n_\lambda) = \phi_1 + \arcsin(n_\lambda \sin(60^\circ - \arcsin(\frac{\sin \phi_1}{n_\lambda}))) - 60^\circ \quad (12)$$

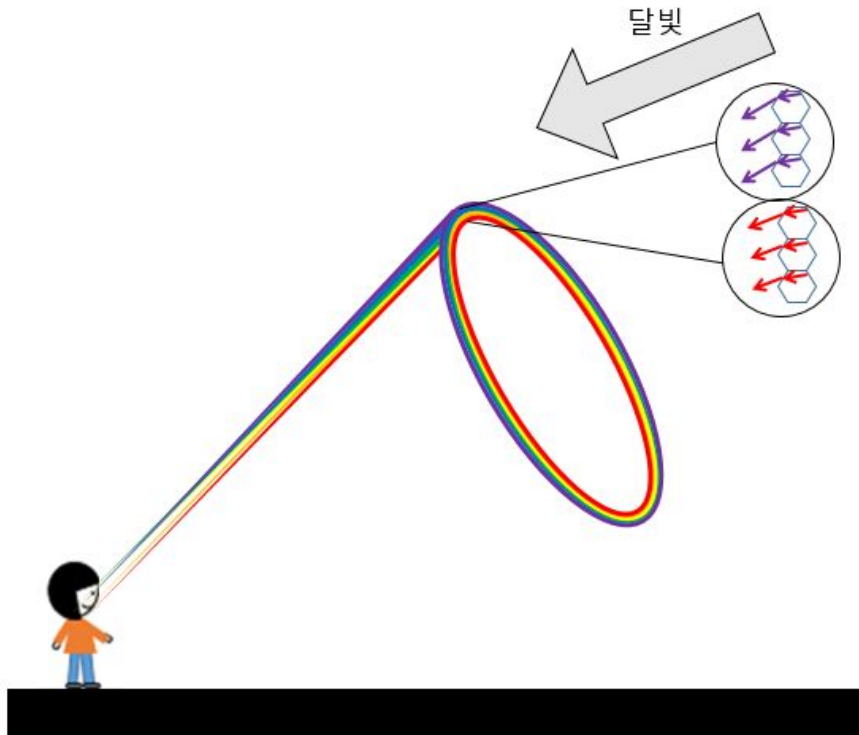
빙정의 굴절률을 이용하여 ϕ_1 에 따른 파장이 656.3nm, 589.3nm, 486.1nm인 빛의 δ 를 그래프로 나타내면 그림 2-11과 같다.



[그림 2-11] 얼음 빙정의 굴절률

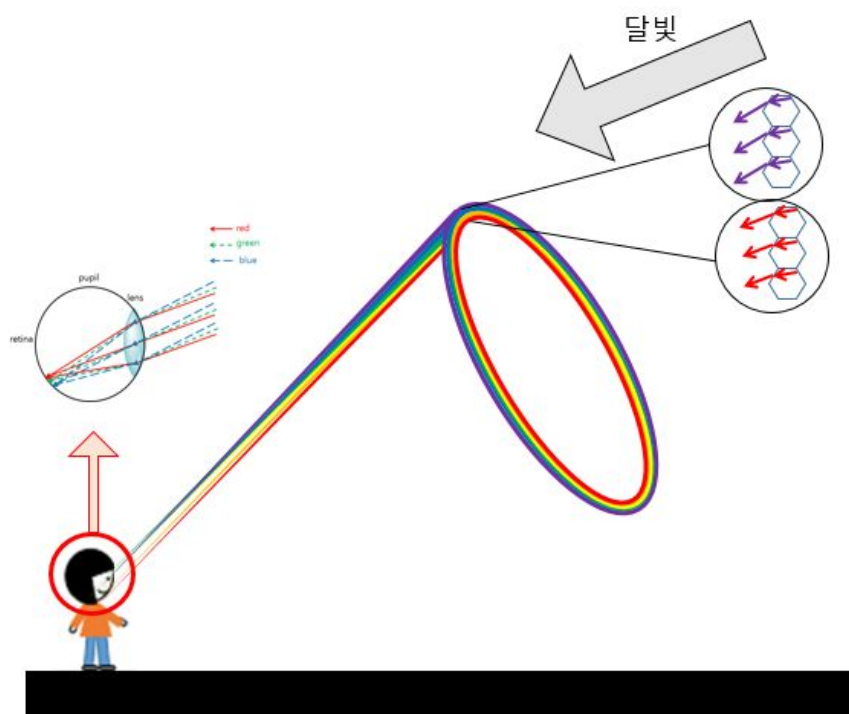
그래프에서 알 수 있듯이 굴절된 달빛이 지면과 이루는 각 δ 의 최솟값은 22° 이다. 최소편이각 근처에서는 빙정이 약간 회전하여도 굴절되어

나오는 달빛의 방향은 크게 변하지 않는다. 그러므로 최소편이각 22° 근처에서 달빛이 집중적으로 물리게 되며, 이 각도에서 달무리가 형성 되는데 이것이 그림 2-12와 같은 달무리이다.



[그림 2-12] 22도 달무리

또한, 얼음 빙정에 달빛이 비치게 되면 보라색이 빨간색보다 지면과 이루는 각이 더 크게 빛의 분산이 일어나게 된다. 빙정의 굴절률 대신 유리의 굴절률을 이용하면 중학교 교과서에 있는 프리즘을 통과한 백색광의 스펙트럼과 그 원리가 같다. 무한히 멀리 떨어진 무수히 많은 얼음 빙정에 의해서 굴절된 달빛이 그림 2-13처럼 사람 눈에 들어와 달무리를 볼 수 있게 된다. 뇌는 망막에서 온 정보를 거꾸로 인식하므로 사람은 제일 바깥쪽이 보라색 계열이고 안쪽이 붉은색인 모습을 볼 수 있다.



[그림 2-13] 달무리 인식 원리

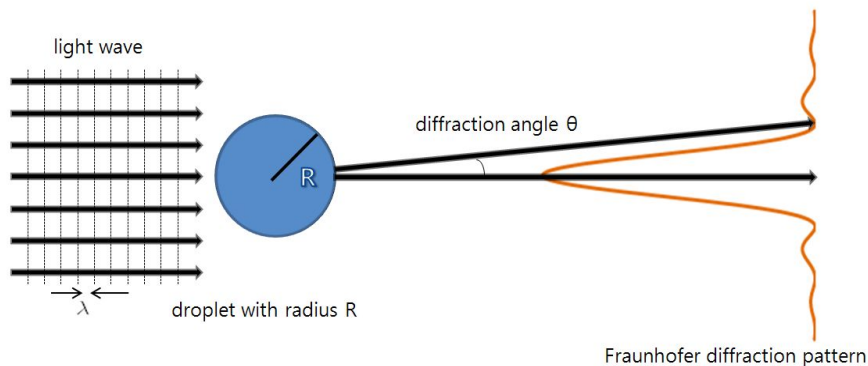
2.1.3. 코로나의 원리

코로나(Corona)는 태양이나 달의 주변에 나타나는 연속적인 여러 색의 띠이며 그림 2-14와 같은 모양을 가진다.



[그림 2-14] 코로나

코로나는 그림 2-15와 같이 공기 중에 퍼져있는 작은 원형 물방울들에 의해 태양빛이나 달빛이 회절하여 나타나는 현상이다. 특히 달 주위에 빛띠가 생기는 현상으로는 달무리와 달에 의한 코로나가 있는데 이 둘은 나타나는 띠의 모습을 이용하여 구별할 수 있다. 달무리는 달 주위에 하나의 밝은 띠가 생기는 반면에 코로나는 달 중심으로부터 바깥쪽으로 연속적인 색의 빛띠를 가진다. 코로나를 관측해 보면 중심부에 가장 밝은 빛의 무리가 있고 그 주변으로 좀 더 흐린 색의 띠들이 연속적으로 분포되어 있는 것을 볼 수 있다.



[그림 2-15] 물방울에 의한 회절

우리가 보는 달에 의한 코로나는 공기 중에 얇고 넓게 분포하는 수 백만개의 물방울들이 불규칙하게 존재하여 생기는 것이다. 이 물방울들의 평균 지름은 $10\sim 15\mu\text{m}$ 정도이며 보통 가시광선의 파장보다 크다. 수 mm 크기의 물방울들은 코로나 현상을 만들기에는 크기가 크다. 달빛의 경로 상에 존재하는 작은 물방울들은 직진하는 빛을 산란시킴으로써 빛의 진행을 막는 장애물 역할을 하게 되고 물방울과 물방울 사이의 산란되지 않은 빛들은 회절된다. 따라서 달에 의한 코로나는 수백만 개의 원형 장애물들에 의한 회절 현상으로 볼 수 있다.

회절 현상은 일반적으로 프레넬 회절과 프라운호퍼 회절로 나뉜다. 프레넬 회절은 광원과 스크린이 장애물에 가까이 있어서 입사되는 광선 또는 스크린에 도달되는 광선을 구면파로 생각해야 되는 회절을 말한다. 반면에 프라운호퍼 회절은 스크린과 광원이 장애물에서 멀리 떨어져 있는 경우로 장애물에 입사되는 광선과 스크린에 도달되는 광선 모두를 평면파로 볼 수 있다. 달에 의한 코로나 현상은 물방울의 크기에 비하여 물방울과 관찰자 사이의 거리가 아주 멀기 때문에 원형 장애물들에 의한 프라운호퍼 회절로 설명할 수 있다.

한편 바비네의 원리에 따르면 상보적(complementary)인 두 개구에 의해서 임의의 점에 생기는 광학장(전기장)의 복소 진폭 분포의 합은 아무

것도 놓지 않았을 때 그 점에 생기는 복소 진폭과 같으며, 서로 상보적인 개구에 의한 회절무늬는 서로 같다. 즉, 원형 장애물들에 의한 회절무늬와 정확히 상보적인 원형 구멍들에 의한 회절무늬는 서로 같다. 따라서 달에 의한 코로나는 원형 구멍들에 의한 프라운호퍼 회절무늬로 볼 수 있다.

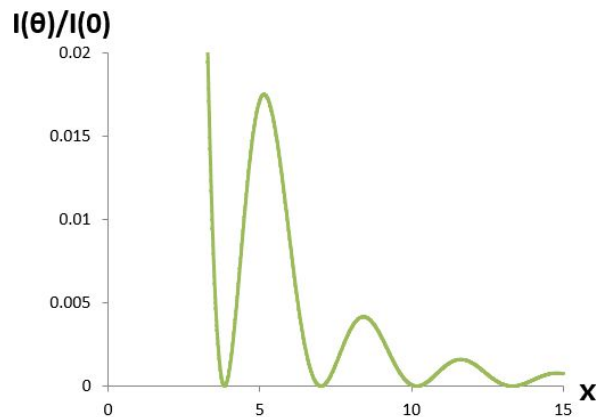
원형구멍에 의한 프라운호퍼 회절은 호이겐스의 원리에 의해 계산할 수 있는데, 분산 각도 θ 의 함수인 빛의 세기 분포 $I(\theta)$ 는 베셀 함수인 $J_1(x)$ 형태로 표현된다. 빛의 파장을 λ , 구멍의 반지름을 R 이라고 할 때,

$$x = \frac{2\pi R \sin \theta}{\lambda} \quad (13)$$

로 놓으면 $I(\theta)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I(\theta) = I(0) \left(\frac{2J_1(x)}{x} \right)^2 \quad (14)$$

베셀함수 $J_1(x)$ 는 사인, 코사인의 형태로 진동하며 x 가 증가함에 따라 진폭은 감소하는데, 첫 번째 극소는 3.83, 두 번째 극소는 7.02, 세 번째 극소는 10.17이다. 베셀함수를 이용하여 $\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\frac{2J_1(x)}{x} \right)^2$ 의 그래프를 그리면 그림 2-16과 같다.



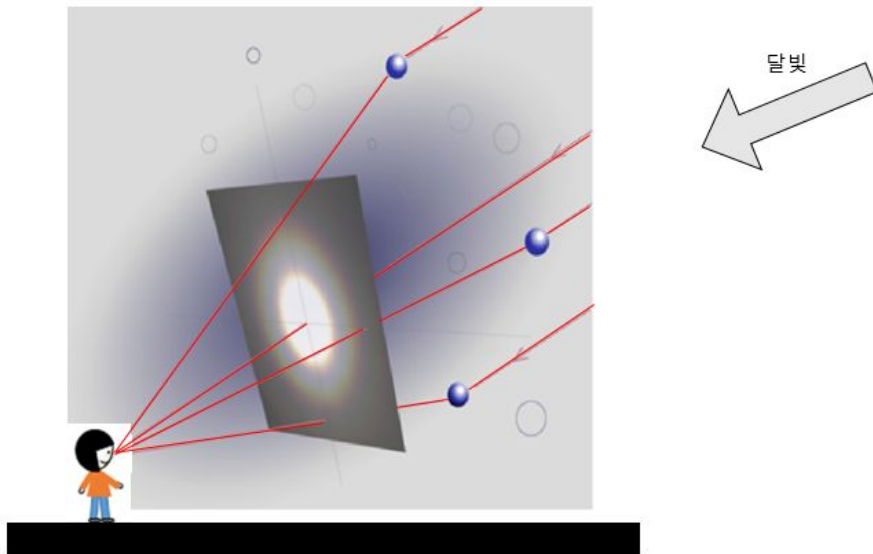
[그림 2-16] $\frac{I(\theta)}{I(0)}$ 의 그래프.

에어리원판의 크기로 알려진 첫 번째 어두운 고리의 반경은 $x_1 = 3.83$ 일 때이며 즉, $3.83 = 2\pi R \frac{\sin\theta}{\lambda}$ 인 지점에서 $J_1(x) = 0$ 이 된다. 만약 빛의 파장 λ 와 구멍의 반지름 R 이 주어진다면 $\sin\theta$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sin\theta = \frac{3.83}{\pi} \times \frac{\lambda}{2R} = 1.22 \frac{\lambda}{2R} \quad (15)$$

이 식에서 구멍의 반지름 R 대신 입자의 반지름을 대입하면 θ 에서 회절 패턴의 각지름(angular size)을 구할 수 있다. 입자를 물방울이라고 하고 R 이 물방울의 반지름이라고 한다면, 물방울의 크기가 작아지면 달빛이 회절하는 정도가 커진다는 것을 알 수 있다.

하나의 원형 구멍에 의한 회절과 코로나의 가장 큰 차이점은 코로나는 여러 개의 물방울에 의해 생성된다는 것이다. 실제로 코로나는 그림 2-17처럼 공기 중에 얇고 넓게 퍼져있는 수백만 개의 물방울 각각에 의해 일어나는 회절이 중첩되어 형성된다.



[그림 2-17] 코로나 관찰의 원리

수백만 개의 원형 구멍들에 의한 프라운호퍼 회절무늬와 한 개의 원형 구멍에 의한 회절 무늬는 엄밀히 말해서 같은 현상이라고 볼 수 없다. 그러나 여러 개의 구멍의 위치가 불규칙하게 나타나는 경우, 중심축이 아닌 임의의 방향으로 서로 평행하게 진행하는 달빛이 한 점에 모인다고 생각해 보면 각 파의 위상은 동일한 확률로 0과 2π 사이의 임의의 값을 갖는다. 확률이론에 입각하여 정교한 분석을 해 보면 그 결과의 무늬는 하나의 구멍에 의한 것과 유사하고 선속밀도는 N 배 증가하여 더욱 밝은 반점의 조도 분포를 가진다. 결국 수백만 개의 물방울에 의해 달빛이 회절한 현상인 코로나는 한 개의 원형 구멍에 의해 빛이 회절된 것과 그 결과가 같다.

이론적인 정확성을 위해서는 달에 의한 코로나를 Mie 이론으로 설명하여야 하나, Cowley(2005)와 Schneider(2005)등의 선행 연구에 의하면 크기가 $10\ \mu\text{m}$ 이상이 되는 물방울에 대해서는 원형 구멍에 의한 회절로 간단하게 설명이 가능하다. 코로나는 모든 물방울들이 짧은 시간에 동일한 생성과정을 통해 만들어져서 같은 지름을 가질 때 좀 더 명확한 무늬가 나타나며, 만일 물방울들이 다양한 크기 분포를 갖는다면 다양한 크기의 회절무늬가 중첩되어 코로나는 사라지게 된다.

2.2. 무지개, 달무리 이해의 과학사적 고찰

그리스 로마 시대에 살았던 대부분의 철학자들은 무지개가 천상의 힘에 의존하는 현상이라고 생각하였는데, 아리스토텔레스는 최초로 정량적으로 무지개를 설명하고자 시도하였다. 그는 무지개와 달무리가 ‘태양이 반사된 것’이라고 설명하였는데 수학적으로 반사를 설명하였으나 반사의 법칙을 적용하지는 않았다. 또한 두 종류의 거울을 가정하는데 ‘어떤 거울에서는 물체의 형태가 반사되고 다른 거울들에서는 색만 반사 된다’라는 주장을 하였으며 이 때 색만 반사되는 경우는 거울이 너무 작아 눈으로 볼 수 없다고 하였다.

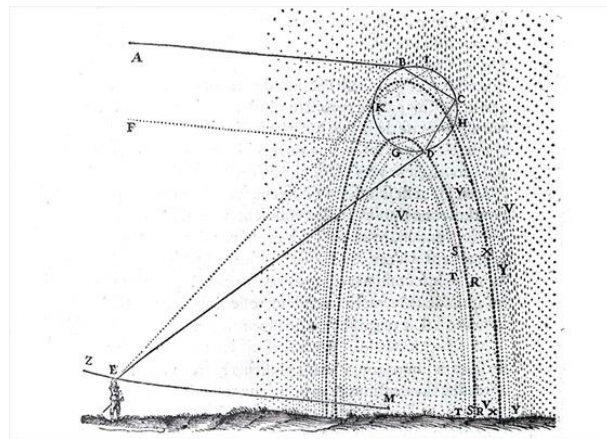
564년 경 알렉산드리아는 기존 아리스토텔레스의 이론을 지지하며 무지개에 대해 일목요연한 정리를 하였다. 그는 반사와 굴절의 차이점에 대하여 논하기도 하였다. 알렉산드리아는 아리스토텔레스의 이론에 대한 반론들로부터 이론을 보호하기 위해 다음의 가정을 추가 하였다. 빛을 반사하는 물질은 밀도가 충분하여 빛을 침투시키지 않는 다는 것이다. 그는 무지개는 세 가지 색으로 이루어진다는 결론을 내렸다.

이슬람의 압달라 입 시나(Abdallah ibn Sina, 980-1037)는 언덕 뒤에 구름이 가려져 일부만 보일 때 무지개는 구름 쪽에서 뿐만 아니라 언덕 쪽을 바라보았을 때도 관찰 가능하다는 것을 통해 무지개가 구름 속이나 구름 위에 존재하는 것이 아니라 구름 앞에 있는 매질에 존재한다고 주장하였다. 그는 무지개는 어두운 구름이 아닌 이슬과 같은 투명하고 쪼개질 수 있는 수분이 있는 공기에 의해 반사된다고 주장하였다.

로저 베이컨(1214-1292)은 실험가들에게 물방울 스프레이, 잔디 위의 이슬, 기름 표면 등에서 분광된 색을 관찰할 수 있다는 점을 알렸다. 또한 베이컨은 실험을 통해 무지개를 관찰 가능한 최대 시야각이 42° 임을 밝혔다. 이것은 무지개의 크기에 관한 최초의 측정이었으며 매우 정확한 값이다. 베이컨은 또한 달무리의 크기에 관련된 값을 측정하려고 시도하기도 하였다.

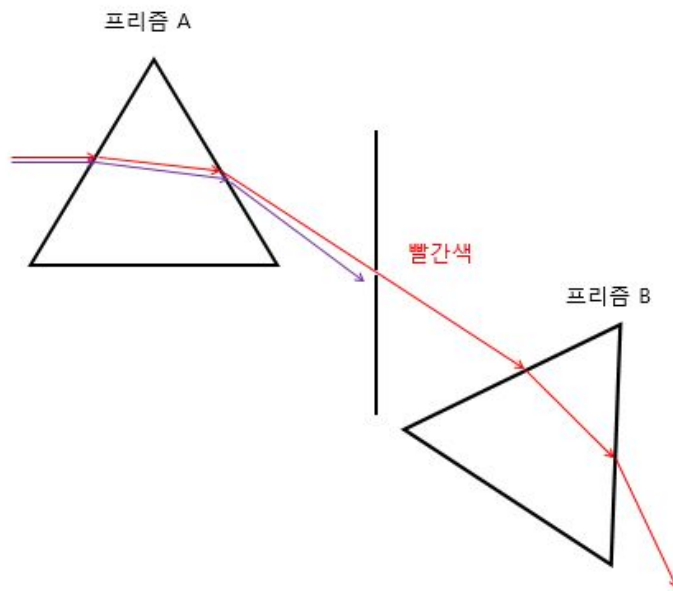
독일의 과학자 스넬(1581-1625)는 무지개와 달무리를 반사와 굴절에 의한 현상으로 연구하였다. 그는 무지개의 생성 원리를 빛이 물질에 입사하고 벗어날 때 두 번 굴절하고 물질 내에서 한 번 반사한다는 것을 밝혔다.

데카르트(1596-1650)는 수천 개의 광선을 작도하여 1차 무지개의 시야각이 $40^{\circ} \sim 41^{\circ}47'$ 이고, 2차 무지개의 시야각이 $51^{\circ}37' \sim 54^{\circ}$ 임을 밝혀냈다. 또한 데카르트는 그림 2-18처럼 굴절의 법칙과 기하학적 논증을 사용해서 이 각도가 왜 42° 인지를 설명하였다.



[그림 2-18] 데카르트의 설명

뉴턴은 백색광이 빛의 합성에 의해 만들어질 수 있음을 그림 2-19처럼 실험을 통해 밝혔다. 뉴턴은 프리즘을 이용하여 백색광이 무지개 색으로 나뉘는 것을 관찰하고 일곱 가지 색으로 구분하여 이름을 붙였다. 또한 역으로 분리된 빛 중 한 색에 슬릿을 갖다 대어 슬릿을 통과한 단색광이 더 이상 나뉘지 않는 것을 통해 백색광의 합성과 분산을 설명하였고 이로서 현대의 무지개 색에 대한 설명이 이루어지게 된다.



[그림 2-19] 뉴턴의 프리즘 실험

2.3. 빛의 입자 모형과 파동 모형

광학 ‘optics’는 그리스어 ‘optica’에서 유래한 것으로 ‘opt’는 눈을 의미한다. 즉 광학은 ‘눈의 학문’이라고 할 수 있다. 고대 그리스인들은 이 눈을 중심으로 한 시각현상과 빛의 본질에 대해 관심이 많았다.

2.3.1 빛의 입자설

뉴턴(Isaac Newton)은 프리즘에 의한 빛의 분산 현상을 관찰한 후 백색광이 여러 색깔들의 혼합이라고 결론지었다. 그는 여러 색깔과 관련된 빛의 미립자들이 에테르로 하여금 그 색에 해당하는 고유의 진동수로 진동하게 한다고 주장했다. 비록 그의 연구 결과는 빛의 파동설과 입자설을 동시에 포함하고 있지만 후에 그의 이론은 빛의 입자성에 더 기울었다. 파동설로는 빛의 직진 현상을 설명할 수 없다고 보았는데, 파동은 모든 방향으로 퍼져나가는 반면 빛은 그렇지 않기 때문이다.

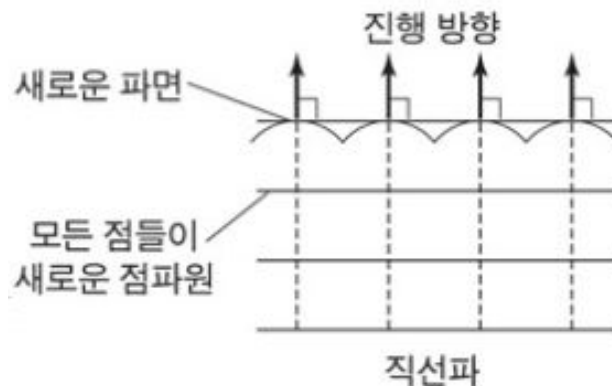
뉴턴이 생각한 빛은 본질적으로 어떤 빛나는 물체로부터 나와서 직진한다고 보았다. 같은 방식으로 움직이고 있다고 생각되는 가장 간단한 물체는 야구공과 같은 입자이다. 다시 말하면, 빛나는 물체는 연속적으로 어떤 종류의 입자를 내보내고 있다고 생각할 수 있다. 빛의 입자는 3×10^8 m/s의 속력으로 움직이기 때문에 지구의 중력으로 인해 빛의 입자가 지나가는 경로는 거의 구부러지지 않는다고 볼 수 있다. 또한 빛은 야구공과 달리 서로 간에 상호작용을 하지 않는다. 상호작용이 없다는 것은 입자들이 대단히 작다는 것을 의미하므로 두 개의 강한 광선속이 서로 만나다 하더라도 한 광선속 안에 들어 있는 입자들은 다른 광선속 안에 들어 있는 입자들과 서로 충돌할 기회가 대단히 작다. 결국 뉴턴은 빛을 속력이 대단히 빠르고 크기가 매우 작은 입자라고 생각하였다.

2.3.2 빛의 파동설

호이겐스(Christian Huygens)는 빛의 파동설을 강력하게 주장하였다. 데카르트, 뉴턴과 달리 호이겐스는 빛이 밀도가 더 높은 매질로 들어가면 속도가 감소한다는 정확한 결론을 얻었다. 그는 파동설을 통해 방해석의 복굴절 현상을 설명하였다.

토마스 영(Thomas Young)은 영국학술원에서 빛의 파동설을 이용한 새로운 기본 개념인 간섭원리를 담은 논문들을 발표했다. 그는 얇은 막 무늬의 원인을 설명하고 뉴턴의 실험결과를 이용하여 이 무늬에서 나타나는 여러 가지 색의 파장들을 알아내었다.

프레넬은 호이겐스가 설명한 파동개념과 토마스 영의 간섭 원리를 합성하였다. 주파의 진행방식은 그림 2-20처럼 어느 순간 구면형태의 연속적인 2차 파들이 서로 중첩되고 간섭하여 그 다음의 주파를 형성하는 것으로 생각하였다. 프레넬의 이론에 의하면 다양한 장애물이나 구멍으로 인해 생기는 회절 형태를 계산할 수 있었고, 균질한 등방성 재료에서 빛이 직진하는 것을 설명할 수 있었다. 이를 통해 뉴턴이 파동설을 반대하게 된 주요 근거인 빛의 직진 현상을 빛의 파동설로 설명하였다. 1825년에는 빛의 입자설을 주장하는 사람은 소수의 끈질긴 사람들 밖에 없었다.



[그림 2-20] 빛의 직진 현상에 대한 프레넬의 설명

2.3.3 전자기파인 빛

빛의 속도를 지구상에서 최초로 측정한 실험은 1849년 피조우(Armand Hoppolyte Louis Fizeau)에 의해서였다. 그는 파리의 근교인 스투네스와 몽마르뜨가지에 각각 회전 톱니바퀴와 거울을 놓았다. 그는 톱니바퀴의 한 틈을 통과한 광 펄스가 거울에서 반사되어 되돌아오면, 톱니바퀴 회전속도를 조절하여 펄스가 톱니에 부딪쳐 막히거나 톱니 사이로 통과할 수 있도록 조절하였다. 이로부터 피조우는 빛의 속도가 315,300 km/s 임을 계산해냈다.

1864년 맥스웰(Clerk Maxwell)은 가속도를 받는 전하는 무한 공간으로 전파되는 전자기적 교란을 만들어낸다는 중요한 제안을 하였다. 전하들이 주기적으로 진동하면 이 교란은 파동이 되고, 이 경우 전자기파의 전기적 성분과 자기적 성분은 서로 수직이며, 또 이들 성분은 모두 파의 진행 방향에 수직이다.

만약 맥스웰이 옳다면, 전자기 유도와 그가 제안한 역과정에 의해 연속적으로 변하는 전기장과 자기장은 서로 결합되어 전자기파를 만들 수 밖에 없다. 맥스웰은 진공에서 전자기파의 전파 속력 c 가 다음과 같이 된다는 것을 보일 수 있었다.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

여기서 ϵ_0 은 자유공간에서의 전기 유전율이고, μ_0 는 자기 투자율이다. 그리고 이 속력 c 는 빛의 속력과 같아 맥스웰은 빛이 전자기파라고 결론지었다.

1888년 독일의 물리학자 헤르츠(Heinrich Rudolf Hertz)는 전자기파가 실제로 존재함을 확인하였다. 그는 전자기파의 파장과 속력을 측정하였으며, 또한 이 파는 전기적 성분과 자기적 성분을 모두 갖는다는 것을 확인하였다. 그리고 이 파는 반사되기도 하고 굴절되기도 하며 회절도 된다는 것을 알아냈다.

2.3.4 에테르 유무

빛의 파동설을 받아들이기 위해서는 어디에나 퍼져있는 물질인 에테르의 존재를 받아들여야 했다. 만약 파동이 있다면 매질이 있어야 한다고 생각했기 때문에 에테르의 물리적 본질을 규명하려는 엄청난 노력이 있었으며 이를 통해 에테르가 꽤 이상한 성질을 갖는 것으로 알려졌다. 에테르는 밀도가 매우 희박해야 하므로 전체의 운동이 외관상 전혀 방해받지 않아야 하며 고주파의 빛을 유지할 수 있는 물질이어야 했다. 이러한 조건은 에테르 내에서 굉장히 강한 복원력이 존재해야 함을 뜻하며, 파동이 어떤 매질을 진행하는 속도가 그 흔들린 물질의 특성에 따라 달라지며 파원의 어떤 운동에도 영향을 받지 않아야 한다.

한편 브래들리(James Bradley)는 1725년 별의 위치를 관측하고 이로부터 그 별까지의 거리를 측정하는 과정에서 항성 수차를 관측하였다. 이 항성 수차를 설명하기 위해서는 지구가 에테르를 헤쳐 나가는 동안 에테르가 전혀 영향을 받지 않고 그대로 남아있는 것이 실험으로 검증되어야 했다. 이를 위해 마이켈슨(Alvert Abragam Michelson)은 몰리(Edward Williams Morely)와 실험을 하였는데, 1887년에 출판된 그 연구 결과는 놀랍게도 에테르에 대해 부정적이었다. 지구와 에테르 사이의 상대운동이 존재해야만 파동론의 범주 내에서 항성 수차를 설명할 수 있었던 반면에, 마이켈슨-몰리 실험은 그 가능성을 일축하였다.

1905년 아인슈타인(Albert Einstein)은 특수 상대성 이론을 소개하였고, 이 이론에서 아주 독자적으로 에테르의 존재를 부정하였다. 아인슈타인의 상대론적 운동학으로 피조우, 마이켈슨-몰리의 실험을 자연스럽게 설명할 수 있게 되자, 물리학자들은 전자기파가 매질이 없는 자유공간에서 전파할 수 있다는 생각을 하게 되었다. 에테르에서 장(field)의 개념으로 바뀌면서 빛을 스스로 지탱하는 파동으로 볼 수 있게 되었다.

2.3.5 빛의 양자모형

헤르츠는 실험 도중 전자기파 발생기의 한쪽 금속 공에 자외선을 쬔 주면 방전이 훨씬 잘 일어난다는 것을 알아내었다. 이는 빛의 진동수가 충분히 큰 경우 전자가 방출되기 때문인데 이 현상은 광전효과이고 방출된 전자가 광전자다. 빛의 파동론의 관점에서는 광전효과의 실험 결과인 빛이 금속 표면에 도달하는 시간과 광전자가 방출되는 시간 사이에 시간적 지연이 없고 빛의 세기에 따라 광전자의 에너지가 모두 같으며 진동수가 더 높은 빛에서 더 큰 에너지를 가지는 광전자가 방출된다는 사실을 설명할 수 없었다.

1905년에 아인슈타인은 빛이란 에너지의 작은 덩어리들이나 미립자들로 이루어져 있다고 주장하여 새로운 형태의 입자론을 제시하였다. 이러한 빛 입자, 즉 광자는 그 진동수에 비례하는 에너지를 가지며 이 광자의 에너지는 플랑크 상수의 곱으로 나타낼 수 있다. 1920년대 말기에는 보어(Bohr), 보른(Born), 하이젠베르크(Heisenberg), 슈뢰딩거(Schrödinger), 드 브로이(De Broglie), 파울리(Pauli), 디랙(Dirac) 등의 노력으로 전자, 양성자 등과 같은 물질도 회절, 간섭 등 파동성을 나타낸다는 점을 알게 되었다. 또한 원자는 불연속적인 에너지 준위를 가지며, 입자는 광자를 주고받는 과정을 통해 에너지를 방출, 흡수한다는 점을 바탕으로 양자역학이란 학문이 정립되었다.

2.4. 선행연구

2.4.1. 분광에 관한 선행 연구

이재봉 등(2004)은 중학교 교사와 학생들을 대상으로 광선추적과 스펙트럼에 대한 교사와 학생의 개념 유형을 비교하였다. 이 연구에서는 7학년 ‘빛’ 단원에서 가장 중요하다고 생각되는 핵심개념은 광선추적과 스펙트럼에 의해 파악할 수 있다고 전제하고, 이에 대한 교사와 학생들의 개념 유형을 조사하였다. 연구 대상은 서울·경기지역 과학교사 10명과 이들에게 배운 학생 328명이다. 연구 결과 광선추적과 스펙트럼에 대한 교사와 학생들의 개념유형에는 차이가 있었으며, 대부분의 교사와 학생들은 상이 생기는 근본원리에 대하여 정확하게 알지 못하였다. 또한 색에 관한 연구에서는 색의 개념을 이해하지 못한 교사와 학생들이 있었고, 교사들은 학생들에게 원리에 대한 설명 없이 색에 관련된 현상을 제시하고 있다는 점이 나타났다.

허원(1998)은 고등학교 물리학습을 위한 빛의 성질 교육 방법 연구에서 고등학교 교과서의 분산에 대한 설명을 조사하였다. 교과서에서의 설명은 분산과 스펙트럼에 대하여 간단한 설명으로 가볍게 다루고 있다고 지적하였다. 분산은 뉴턴의 프리즘을 이용한 실험에 의하여 관찰된 것으로 처음으로 빛의 본성에 접근한 실험이며, 이를 이용한 분광기는 지질학, 화학, 의학의 많은 분야에서 위대한 과학적 발견을 가능케 하였다. 따라서 분산과 스펙트럼을 이용한 간단한 도구를 만들어 실험을 해봄으로서 학생들의 호기심을 자극시킬 수 있으며 분산과 스펙트럼에 대한 깊은 이해와 과학적 자극을 줄 수 있을 것이다.

신민경(2007)은 중학교 1학년 학생들에게 빛 단원의 반사, 굴절, 분산 현상들을 정확히 이해시키고, 이것을 바탕으로 무지개의 원리를 이해하려는 목적의 연구를 하였다. 이를 위해 유리구슬에 의해 만들어지는 무지개의 현상을 태양광과 백색 꼬마전구를 이용하여 실내, 실외에서 관찰

하여 학생들 스스로 규칙성을 찾게 하였다. 교사는 실험 결과를 실제 무지개의 이론과 비교하는 과정을 통해 학생의 탐구 능력을 기를 수 있으며, 시각적인 효과를 이용해 집중력을 높일 수 있다.

2.4.2. 빛에 관한 선행 연구

Stead와 Osborne(1980)은 10-15세 학생들을 대상으로 빛에 대한 생각을 조사하였다. 학생들은 대부분 난로, 태양, 양초와 같은 1차 광원만이 광원의 역할을 한다고 생각하였다.

Galili와 Lavrik(1998)는 광학을 배운 고등학생을 대상으로 계절 변화와 조도(illumination)에 대한 지식을 묻은 결과, 학생들은 계절 변화와 조도에 대한 과학적 관점을 갖고 있지 않았다. 이는 광선의 의미를 알지 못하기 때문이므로 빛다발(light flux) 개념을 광학 교육과정에 포함할 것을 제안하였다.

Jung(1987)는 10-14세 학생들을 대상으로 빛, 빛의 인식 등에 대한 생각을 조사하였다. 학생들은 광원은 물체를 비추고, 물체는 비춰지는 역할을 한다고 생각하였다. 눈이 능동적으로 물체를 본다고 생각하고, 빛을 물체를 보는 것과 관련 짓지 못하였다. 학생들은 물체를 보려면 빛이 있어야 하나, 밝은 색 물체는 고유한 밝음이 있어 광원이 없어도 볼 수 있다고 생각하였다. 또한 빛이 비추어진 물체는 자신이 밝아지기만 할 뿐 광원이 아니므로 다른 물체를 밝게 할 수 없다고 생각하였다.

배호정(2003)은 중학교 1, 2, 3학년을 대상으로 빛의 굴절에 대한 개념을 조사한 결과 학년이 높아질수록 굴절에 대한 비과학적 개념을 가진 경우가 많은 것으로 나타났다. 대부분의 학생들은 렌즈의 굴절에 대해 빛의 경로를 이해하지 못한 채 볼록렌즈는 빛을 모으고 오목렌즈는 빛을 퍼지게 하는 작용을 하는 것으로만 알고 있으며 렌즈 내부에서 굴절이 일어나는 과정을 설명하지 못하였다.

권경필 외(2006)는 빛 단원을 학습한 7학년 28명의 학생을 대상으로 9종 교과서에 공통적으로 제시된 세 가지 상황에서 학생 개념의 상황의존성을 조사하였다. 검사 결과 2명의 학생만이 과학적 개념을 일관되게 적용하였다. 세 상황에 모두 오답을 한 학생들은 빛의 반사개념, 시선개념, 충돌개념을 가지고 물체를 보는 과정을 설명하려 하였다. 이런 개념을 가진 학생들은 눈의 수동적 기능, 물체에서 빛의 난반사, 빛의 이동경로

에 대한 이해가 부족했으며 각 상황의 변화에 따라 여러 가지 다른 설명을 혼용하였다.

방소윤(2007)은 7차 교육과정 '빛'단원을 학습한 7학년 학생 190명을 대상으로 빛 단원 수업 전에 빛의 이동 경로에 대한 개념의 상황의존성을 세 가지 상황에 대하여 조사하였다. 상황-의존적 개념을 변화시키기 위해 광학 기초개념을 강조한 수업을 실시한 후 세 가지 상황에서의 상황 의존성 변화를 분석하였다. 분석 결과 과학적 개념의 일관성을 갖는 학생이 증가하였다. 하지만 상에 대해서는 여전히 상황에 따른 의존성을 보여주었다.

2.4.3. 상에 관한 선행 연구

이재봉 등(2004)은 7학년 학생들과 교사들의 개념유형을 조사한 결과 대부분의 교사와 학생들은 과학적인 설명 없이 교과서에 제시된 그림대로 거울에 대칭되는 위치에 상을 그렸으며, 관찰자의 위치에 따라 상의 위치가 달라진다는 생각을 하였다. 또한 상의 위치를 찾을 때 하나의 광선을 이용하기도 하였다. 연구자는 교육과정이 현상적인 내용만 강조하고 상이 생기는 근본적인 원리는 언급하지 않는 경우가 많아 학생들이 빛 단원을 학습할 때 현상을 암기하게 된다고 하였다. 따라서 빛 단원을 교수-학습할 때는 현상중심이 아닌 광선추적법이나 스펙트럼 방법을 기본 원리로 하는 교수-학습과정이 필요함을 제안하였다.

백성혜와 정연경(2009)은 최소 4년 이상의 교육 경험을 가진 초등학교 교사를 대상으로 빛과 상에 관련하여 초등 교사들에게 어떤 개념의 이해가 필요한 지에 대해 연구하였다. 연구결과를 바탕으로 '본다'는 것에 대한 관점, 빛의 인식과 함께 물체와 상을 인식하는 원리에 대한 지도가 필요함을 제안하였으며, 현 교육과정의 문제점으로 관찰과 현상 위주의 수업을 지적하였다.

김진희(2004)는 '빛'단원 내용 중 빛의 반사와 굴절에 의한 상의 형성과 빛의 합성에 대해 교사들이 가지고 있는 개념을 조사하였다. 검사 결과 교사들은 상이 생기는 근본 원리에 대해서 인지하고 있지 못하며, 단편적인 현상을 암기하거나 공식 등에 의존해서 상의 위치를 찾으려 하였다. 그 결과 평면거울의 상을 찾을 때 물체에서 나온 2개 이상의 광선을 그려서 상을 찾으려 하는 교사들은 거의 없었고(44명 중 1명), 대부분 하나의 광선으로 상을 찾거나 암기하고 있던 상의 위치를 표시하였다. 많은 교사들이 허상의 개념을 이해하지 못하였으며, 빛의 굴절을 통한 상의 형성을 설명하지 못하였다. 광선 추적은 정확히 하지 않은 경우가 많으며, 물체에서 난반사되는 빛에 대한 개념과 눈의 역할에 대한 이해가 부족하였다.

국진선(2005)은 대학생들을 대상으로 평면거울의 상에 대한 개념을 조

사하였다. 조사결과 학생들은 상이 형성되는 과정을 작도할 때 광선을 두 개 이상 사용하여 물체에서 출발하여 눈에 도달하는 광선을 표시한 학생은 8%이하로, 대부분 상이 형성되는 과정에 대한 이해가 부족하다고 하였다. 또한 익숙하지 않은 상황에서는 반사의 법칙에 어긋나는 빛의 경로를 이용하여 문제를 해결하는 등 상황에 매우 의존적인 성향을 보였다. 상이 형성되고 관찰되는 것이 관찰자와는 별개로 독립적으로 일어난다는 생각을 하는 것으로 나타났다. 따라서 상이 형성되는 과정에 대한 이해가 필수적이며 광학은 보는 것에 관련된 현상을 설명하는 것이므로 직접 보여주거나 실험을 함으로써 개념을 확인하는 것이 좋은 방법일 것이라 하였다.

오현주(2008)는 뇌는 눈에 들어온 빛이 직진한다고 인식하여 눈에 들어온 정보를 바탕으로 상의 위치나 모양을 설명하는 수업을 한 학생들과(실험반) 전통방식의 수업을 한 학생들(통제반)을 비교한 결과 실험반 학생들은 수업 전 모든 학생들이 상 개념을 형성하지 못하였지만, 볼록 렌즈에 실상과 허상 개념 모두에 대해서는 41.0%로, 오목렌즈의 허상 개념은 43.6%, 볼록거울 허상 개념은 42.7%, 오목거울 허상 개념은 41.0% 형성되었다. 반면 통제반 학생들은 수업 전과 후 모두 상 개념을 형성한 학생은 없었다.

김현진(2005)은 중등 예비교사들의 상형성에 관한 연구에서 많은 학생들이 볼록렌즈의 상 모양과 빛 경로에 대해 과학적 개념을 갖고 있지 못하며, 상에 대한 정확한 정의를 알지 못한다고 하였다. 물체의 한 점에서 나오는 광선 하나로 상을 설명하려고 하였으며, 상의 위치를 정할 때 경험 또는 이미 알고 있는 지식을 바탕으로 결정한 후 빛의 경로로 설명한다고 하였다. 그 결과 볼록렌즈의 반을 가리거나 영사막의 위치를 옮기는 새로운 상황에 적용하여 설명하지 못하였다. 빛의 경로 작도나 빛이 여러 방향으로 진행하는 것에 대해 좀 더 자세하게 설명할 필요가 있다고 하였다.

2.4.4. 수학교육에서의 관계적 이해와 도구적 이해

Skemp(1987)는 「수학학습 심리학」을 통해 관계적 이해(relational understanding)와 도구적 이해(instrumental understanding)에 대해 자세히 설명하고 있다. 관계적 이해는 무엇을 해야 할지 그리고 왜 그런지를 모두 아는 것으로 우리가 흔히 이해라고 생각하고 사용하는 의미이고, 도구적 이해는 진정으로 의미를 알지 못한 채 공식을 사용하는 것을 말한다.

Skemp는 관계적 이해를 일반적인 수학적 관계로부터 특별한 규칙 또는 절차를 이끌어내는 능력이라고 정의하였다. 이러한 관계적 이해의 장점은 새로운 과제에 적용하기 쉽고 기억이 오래가며 그 자체로 학습의 목적이 된다는 점이다.

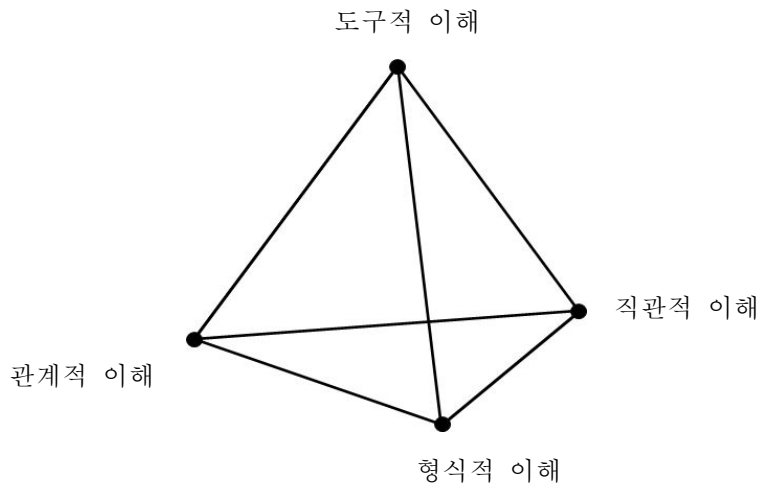
반면에 도구적 이해란 “이유 없는 법칙”으로 설명된다. 수학의 내용을 이해를 함에 있어 말 그대로 단순암기를 하는 것을 의미한다. 학습자는 기계적으로 주어진 공식을 암기하여 적당히 숫자를 대입해 답을 얻어내면 학습이 이루어 졌다고 결론 짓게 된다. 도구적 이해는 학생들이 이해하기 쉽고 곧바로 정답을 찾아낼 수 있어 보상이 즉각적이고 분명하다. 이러한 이유로 학교 현장에서 많은 교사들이 학생들에게 도구적 이해를 하도록 가르치고 있다. 그러나 도구적 이해에 의해 얻어진 정신적 구조는 적응력에 한계가 있다. 새로운 상황에 적용하기 위해서는 개념적 연관이 필요한데 이것이 관계적 이해이다.

이윤(2004)에 의하면 관계적 이해란 이해를 함에 있어 단순히 암기를 바탕으로 한 것이 아닌 자신이 이해하고자 하는 내용이 “왜”, “어떻게” 만들어 졌는지에 대한 상호관계를 이해하는 진정한 의미의 이해라고 할 수 있다. 즉, 관계적 이해는 학습자 자신이 가지고 있는 기존의 스키마(schema)에 대한 적절한 조절과 동화를 통해 진정한 이해를 만들어가는 과정인 것이다.

Skemp가 이해를 도구적 이해와 관계적 이해로 나누고 있는 반면에 V. Byers와 N. Herscovics는 Skemp의 두 가지 이해에 직관적 이해와 형식

적 이해를 첨가하여 그림 2-21과 같이 이해의 4면체 모델을 제시하였으며 다음과 같이 정의하고 있다.

- ① 도구적 이해 : 그 규칙이 왜 작용하는지 모르고 기억된 규칙을 사용하여 문제를 해결하는 능력
- ② 관계적 이해 : 보다 일반적인 관계로부터 특별한 규칙 또는 절차를 이끌어내는 능력
- ③ 직관적 이해 : 문제의 적절한 분석 없이 문제를 해결하는 능력
- ④ 형식적 이해 : 수학적 기호와 표기를 수학 아이디어와 적절히 연결하고 논리적 추론을 하여 국소적으로 연역하는 능력



[그림 2-21] V. Byers와 N. Herscovics의 4면체 모델

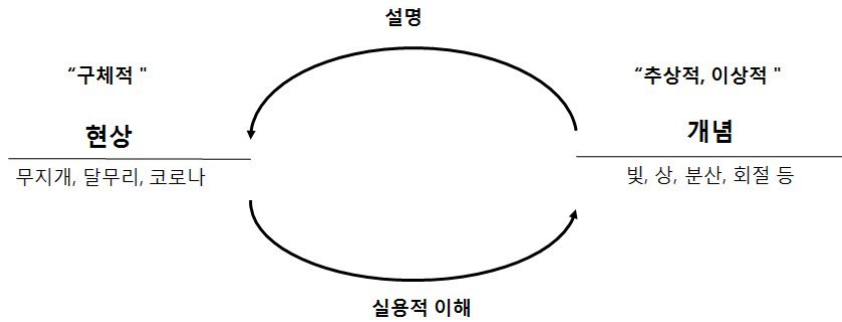
V. Byers와 N. Herscovics는 네 가지 이해의 유형이 상호작용한다고 하였는데, Backhouse는 형식을 개념의 일부로 간주하여 굳이 형식적 이해라고 부를 필요가 없다고 비판하였다.

2.4.5. 과학적 개념과 현상에 대한 심층적 이해

개념은 관찰 사실을 바탕으로 형성되며 이론을 구성하는 인지적 기본 단위라고 할 수 있다. 개념의 영어 표기는 ‘concept’와 ‘conception’이 있는데 ‘concept’은 공인된 속성을 ‘conception’은 사람의 인지구조 속에 있는 정신적인 표상을 의미한다. ‘회절’을 예로 든다면, 물리학의 광학에서의 정의에 의하면 사람에 따라 달라지는 것이 아니라 공인되어 있고 학습의 대상이 되는 것이다. 그러나 이 회절을 학습하는 학생들이나 가르치는 교사가 생각하는 ‘회절’이라는 개념은 사람마다 다를 것이다. 정도의 차이는 있겠지만 ‘회절’에 대하여 동일한 개념(conception)을 가지고 있는 사람은 없다고 할 수 있다.

과학교육은 학생들이 가지고 있는 개념(conception)을 과학적 개념(concept)으로 변화시키는데 목적이 있기 때문에 학생들이 가지고 있는 개념(conception)이 어떤 특징을 가지고 있으며, 어떻게 형성되는가에 대해 아는 것은 매우 중요한 일이다.

현상과 개념은 Roth(2006)을 참고하면 그림 2-22과 같은 관계가 있다. 무지개, 달무리, 코로나 등과 같은 현상은 관찰 가능한 구체적인 것이다. 반면, 빛, 상, 분산, 회절 등의 개념은 추상적이며 이상적인 것이다. 현상은 개념의 이해에 실용적인 도움을 주며, 개념은 현상을 설명할 수 있게 해준다. 예를 들어 구체적으로 관찰 가능한 무지개는 분산을 이해하는데 실용적인 도움을 주며, 분산은 무지개의 분광 현상을 설명할 수 있게 해준다. 이는 현상과 개념은 분리된 것이 아니라 서로 관계가 깊다는 것을 의미한다.



[그림 2-22] 현상과 개념의 관계

수학교육에서는 이해를 크게 도구적 이해와 관계적 이해로 분류하였다. 본 연구에서는 표 2-1과 같이 개념과 현상으로 구분하고, 개념에 대한 이해는 Friedman(1974) 등을 참고하여 과학적 이해와 과학적이지 않은 이해, 현상에 대한 이해는 양찬호(2011) 등을 참고하여 심층적 이해, 피상적 이해, 현상을 이해하지 못함으로 분류하였다. 개념의 과학적 이해는 앞에서 설명한 과학적 개념(concept)과 그 의미가 같다. 심층적 이해는 현상을 개념과 연결하여 이해할 수 있고, 현상을 과학적인 개념으로 설명할 수 있다는 점에서 현상을 대안적인 개념으로 설명하거나 현상과 개념이 분리되어 있는 피상적인 이해와는 구분된다.

[표 2-1] 이해수준 분류

구분	이해 수준	설 명
개념	과학적 이해	<ul style="list-style-type: none"> · 과학적인 방법(사회적으로 합의된 과학 원리)로 개념을 이해
	과학적이지 않은 이해	<ul style="list-style-type: none"> · 과학적이지 않은 방법(감성적, 미신적, 종교적, 개인 신념 등)을 통한 이해 · 과학적 이해에 도달하지 못한 이해
현상	심층적 이해	<ul style="list-style-type: none"> · 현상과 개념의 연결 · 과학적인 개념으로 현상을 설명
	피상적 이해	<ul style="list-style-type: none"> · 현상과 개념의 분리 · 대안적인 개념으로 현상을 설명
	현상을 이해하지 못함	<ul style="list-style-type: none"> · 현상과 개념의 분리 · 현상을 설명하지 못함

2.4.6. 개념 변화의 조건

Posner(1982)는 다음과 같은 네 가지 조건이 갖추어져야 학습자에게 개념변화가 일어난다고 보았다.

1. 현재의 개념에 불만을 느껴야 한다.

학생들은 자신의 개념이 잘못 적용되는 경우를 접하지 않는 한 그 개념을 바꾸려고 하지 않는다. 또한 현재 개념이 수행과정에서 오류를 범하더라도 자신의 개념 전체를 점검해야 한다는 것이 명백하지 않으면 개념의 일부만을 최소한으로 바꾸어서 문제를 해결하려할 뿐이다. 여기서 쿤의 말을 빌리면, “비정상적인 사례가 가득 차있어야” 조절이 일어난다.

2. 새로운 개념은 이해될 수 있어야 한다.

새로운 개념을 탐색하려면 그 개념을 최소한이나마 이해할 수 있어야 한다. 극적인 개념변화를 이루기 위해서는 극복해야 할 어려움이 있는데, 그 중 하나가 이전의 개념체계로 사고하는 사람에게는 새로운 개념을 자신의 직관과 반대로 해석하며 이를 이해조차 못한다는 면이다(Strike and Posner, 1985). 학습자는 새로운 개념이 무슨 의미인지도 이해하지 못하며, 그 개념이 옳다고 해도 자연세계가 어떻게 작동하는 지를 이해하지 못한다. 따라서 학습자가 새로운 개념에 의미를 부여할 수 있어야 잘못된 개념을 바꿀 가능성이 높아진다.

3. 새로운 개념은 그럴듯해 보여야 한다.

기존의 개념을 대체할 수 있는 새로운 개념으로 후보가 되기 위해서는 옳은 것처럼 보이면 된다. 처음 볼 때 그럴듯한가를 결정하는 요소는 새로운 개념이 현재의 개념이나 기존의 굳건한 신념들이 풀지 못한 문제를 풀거나 해결할 수 있는 잠재성에 달려있다.

4. 새로운 개념은 유용해야 한다.

현재의 문제를 해결할 수 있는 잠재성을 보이는 것만으로는 새로운 개념으로 변하기에 부족하다. 새로운 개념변화는 자연세계에 대한 새로운 접근 방식을 의미하므로 새로운 탐구를 열어주어야 한다. 이를 통해서 학생들은 새로운 개념이 유용한 도구임을 알게 된다.

2.4.7. 물리 개념의 변화와 발달

학생들은 새로운 과학개념을 학습하기 이전에 이미 경험적으로 자연현상에 대한 자신의 생각을 갖게 된다. 이를 ‘선입개념’ 혹은 ‘직관적 관념’ 등으로 불렀다. 이와 같이 인간이 자연과의 상호작용을 통하여 자신의 생각을 형성해 나간다. 이러한 구성주의적 입장에서 개념형성은 학생들의 머릿속에 이미 형성된 개념과 새로 배우게 될 개념 간의 상호작용에 의하여 이루어지며, 학습과정은 학습자 스스로가 의미를 구성해 나가는 능동적인 과정이다.

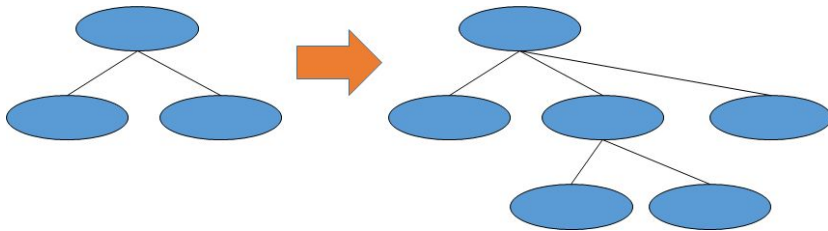
과학 현상에 대하여 학생들이 가지고 있는 선입개념이 과학적 개념과 다를 때, 보통 오개념(misconception)이라고 한다. 오개념은 학생들이 그들의 독특한 문화적, 개인적 경험의 결과로 학습한 과학적 개념과 병존하기도 하며, 인지구조 내에 독립된 형태로 존재하기도 한다. 이렇게 학생들의 오개념이 견고하게 지속되는 중요한 이유 중 하나는 자신의 생각이 잘못된 것임을 인식하지 못하는데 있다고 할 수 있다. 인지갈등 전략은 학생들을 자신의 선입개념으로 설명할 수 없는 현상에 직면하게 함으로써, 자신의 생각이 잘못된 것임을 명료하게 인식하게 하는 교수 전략이다.

본 연구에서는 예비교사들의 현상에 대한 이해수준을 개념과의 연계를 통해 심층적으로 분석하고자 한다. 또한 인지갈등을 일으키는 문항과 실험을 통해 예비교사들의 개념이 어떻게 변하고 발달하는지를 알아보하고자 한다.

경험과 정보가 쌓여감에 따라 개념은 변화하고 발달하는데, 개념의 발달을 노박의 개념도(Nobak & Gowin, 1984) 형태로 나타낼 수 있다.

1) 개념 확장

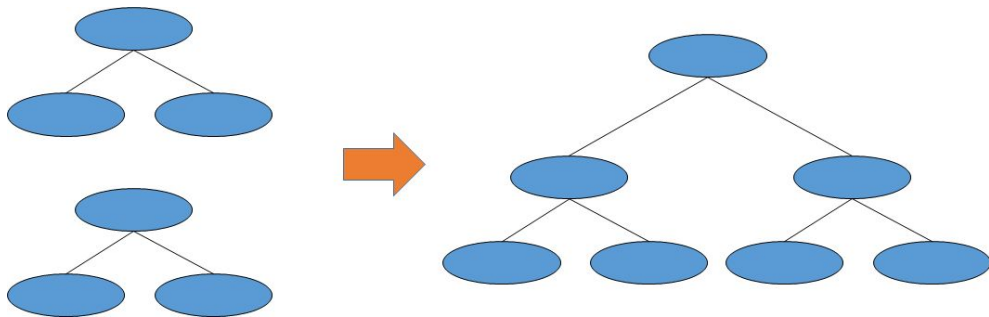
처음에는 뉴턴 제2법칙에 의해 가속도의 크기를 구하다가, 속도 변화로부터 가속도의 방향을 찾아 힘의 방향을 찾는 등 점차 법칙에 대한 적용이 확장되는 경우이다. 이를 개념도 형태로 나타내면 그림 2-23과 같다.



[그림 2-23] 개념 확장

2) 개념 연결

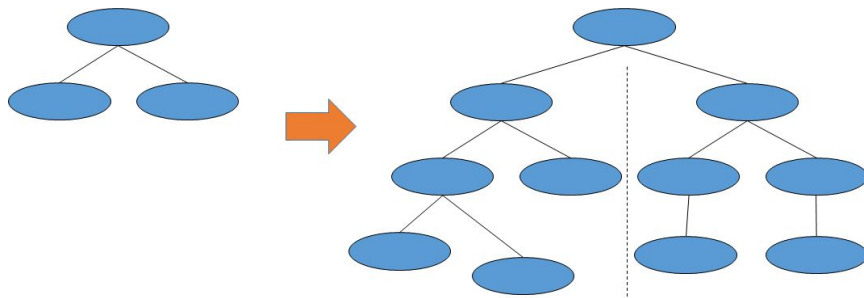
각각 별개이던 작은 개념 또는 체계가 서로 연결되어 확장된 하나의 개념체계로 변화할 수 있다. 노박은 이와 같이 별개이던 개념들이 서로 연결되는 것을 ‘교차 연결(cross link)’이라고 하였다. 이를 개념도 형태로 나타내면 그림 2-24와 같다.



[그림 2-24] 개념 연결

3) 개념 분화

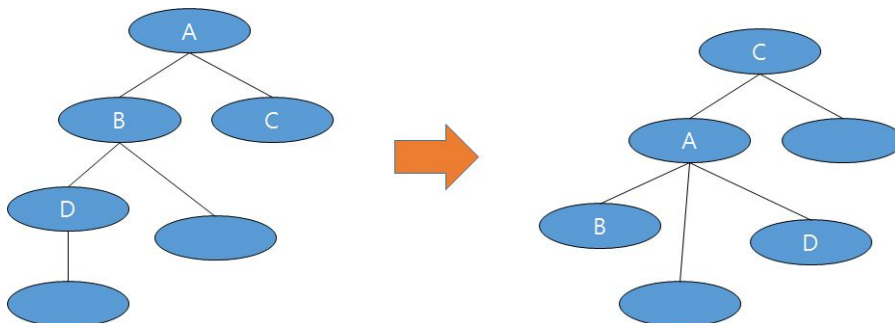
처음에는 같은 개념 체계에 속해 있었으나, 점차 세분화되면서 서로 다른 개념 체계로 발달되는 경우이다. 질량의 개념이 점차 중력 질량과 관성 질량으로 세분화 되는 것이 그 예이다. 개념 확장이 기존의 개념을 포함하면서 확장되어 가는 반면에 개념 분화는 새로운 개념으로 분화되는 것이다. 이를 개념도 형태로 나타내면 그림 2-25와 같다.



[그림 2-25] 개념 분화

4) 개념 급변

개념 구조 자체가 변화하는 급진적인 발달도 있다. 예를 들면 아리스토텔레스 역학개념 체계에서 뉴턴 역학 개념 체계로 변화하는 경우가 이에 속한다. 이를 개념도 형태로 나타내면 그림 2-26과 같다.



[그림 2-26] 개념 급변

2.5. 2007·2009 개정교육과정에서의 ‘빛’ 단위

2.5.1. 2007 개정교육과정

연구에 참여한 예비교사들이 배운 2007년에 개정된 교육과정에서는 빛의 합성과 함께 빛의 분산을 직접적으로 다루고 있다. 2007 개정교육과정에서 빛의 분산은 표 2-2와 같이 8학년의 빛과 파동 영역에서 포함되어 있다.





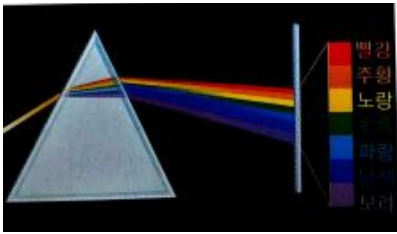

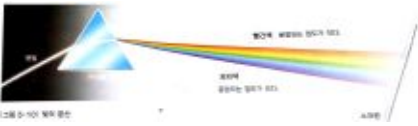
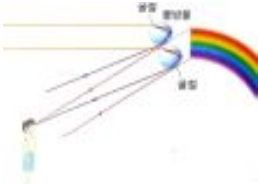
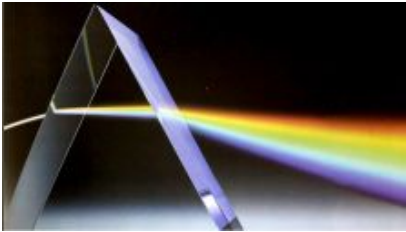

[표 2-2] 2007 개정 교육과정에서의 8학년 내용

학년	내용
8	<p>(6) 빛과 파동</p> <p>(가) 빛의 반사 법칙을 이용하여 평면거울에 의해 상이 생기는 원리를 설명할 수 있다.</p> <p>(나) 오목 거울과 볼록 거울에 의해 상이 생기는 원리를 정성적으로 설명할 수 있다.</p> <p>(다) 오목 렌즈와 볼록 렌즈에 의해 상이 생기는 원리를 정성적으로 설명할 수 있다.</p> <p>(라) 빛의 분산과 합성을 안다.</p> <p>(마) 파동의 발생과 전파 과정을 설명할 수 있다.</p> <p>(바) 종파와 횡파의 차이를 이해하고 각각의 예를 들 수 있다.</p> <p>(사) 소리가 들리게 되기까지의 과정을 설명할 수 있다.</p> <p>(아) 소음이 우리 생활에 미치는 영향을 말할 수 있다.</p> <p>[탐구 활동]</p> <p>(가) 거울과 렌즈에 의해 생기는 상 관찰하기</p> <p>(나) 볼록 렌즈에 의한 상 작도하기</p> <p>(다) 물결과를 발생시켜 전파하는 모양 관찰하기</p> <p>(라) 횡파와 종파 관찰하기</p> <p>(마) 소음을 줄이는 방안 조사하기</p>

2007 개정교육과정을 따르는 교육부 검정 교과서 중 10종의 교과서를 살펴보면 표 2-3과 같이 프리즘에 의한 분산은 10종 모두에서 다루어지고 있으며, 무지개는 7종에서 다루어지고 있다. 따라서 무지개는 대다수의 교과서에서 수록된 분산에 의한 대표적인 자연현상이라고 할 수 있다.

[표 2-3] 2007 개정 교육과정 교과서에서 제시된 분산 관련 그림

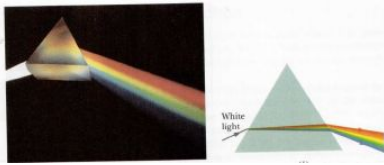
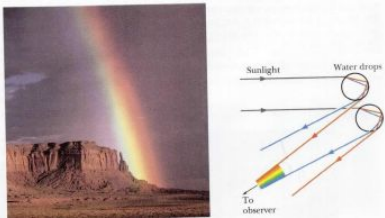
내용 출판사	프리즘	무지개
금성		
천재 교육 (유준희)		
천재 교육 (이면우)		
중앙 교육 진흥 연구소		×

교학사		×
두배의 느낌		×
미래엔		
두산 동아		
비상		
동화사		

※ ×는 교과서에서 관련 그림을 제시하고 있지 않음을 의미함.

무지개가 다루어지고 있는 7종의 교과서 중에서 4종의 교과서는 그 원리를 설명한다. 또한 연구에 참여한 예비교사들은 대학교 1학년 때 Halliday, Resnick, Jearl Walker이 저자인 Principles of physics, 8ed을 일반 물리학 교과서로 사용했다. 이 책 821 페이지를 보면 프리즘과 무지개에 의한 빛의 분산을 표 2-4와 같이 다루고 있다.

[표 2-4] 연구 참여자들이 배운 일반물리학 교재에서의 빛의 분산

내용 서명	프리즘에 의한 빛의 분산	무지개에 의한 빛의 분산
Principles of physics		

따라서 이 연구에 참여한 예비교사들은 프리즘과 무지개에 관한 빛의 분산을 8학년 교과서와 대학교 1학년 일반물리학 시간에 배웠다고 할 수 있다.

2.5.2. 2009 개정 교육과정

현재 초등학교, 중학교, 고등학교는 2009 개정 교육과정이 시행되고 있다. 2009 개정 교육과정의 ‘빛’ 단원의 내용은 표 2-5와 같다. 8학년에서 빛을 파동과 함께 다루고 있으며, 학습 내용 성취 기준에 “빛의 삼원색으로 다양한 빛을 합성할 수 있음을 알고”의 내용이 있어 모든 교과서에서 빛의 합성을 다루어지고 있다. 그러나 빛의 분산은 2007 개정 교육과정에서는 8학년 빛의 파동에서 포함되어 있었으나 2009 개정 교육과정에서는 빠져있다.

[표 2-5] 2009 개정 교육과정에서의 빛 내용 체계

학년	영역 및 내용
3-4 학년	<p>- 거울과 그림자</p> <p>이 영역은 빛의 기본 성질인 반사와 직진을 다룬다. 우리는 빛을 통해 사물을 볼 수 있다. 빛의 경로를 추리하는 탐구 활동을 통해 논리적인 사고와 과학적 태도를 기를 수 있다.</p> <p>거울에 비친 물체의 모습을 관찰하여 거울의 성질을 알고, 물체의 그림자를 관찰하여 그림자가 생기는 원리를 알게 한다. 또 조건을 달리하면서 결과를 비교하는 탐구 활동을 경험하게 하고, 거울과 그림자를 일상생활에서 사용하는 예를 찾게 한다.</p> <p>이 영역은 5~6학년군의 ‘렌즈의 이용’과 중학교 1~3학년군의 ‘빛과 파동’과 연계된다.</p> <p>[학습 내용 성취 기준]</p> <p>(가) 거울에 비친 물체의 모습을 관찰하여 거울의 성질을 이해한다.</p> <p>(나) 여러 가지 물체의 그림자를 비교하고, 그림자가 생기는 원리를 이해한다.</p> <p>(다) 전등과 물체 사이의 거리에 따라 그림자의 크기가 달라짐을 안다.</p> <p>(라) 일상생활에서 거울이나 그림자를 사용하는 예를 찾는다.</p>

	<p>[탐구 활동]</p> <p>(가) 거울에 비친 물체의 모습 관찰하고 거울의 성질 추리하기</p> <p>(나) 투명한 물체와 불투명한 물체의 그림자 비교하기</p> <p>(다) 전등과 물체 사이의 거리에 따른 그림자의 크기 실험하기</p>
5-6 학년	<p>-렌즈의 이용</p> <p>이 영역에서는 여러 가지 렌즈에서 나타나는 현상을 다룬다. 일상 생활에서 많이 쓰이는 렌즈는 빛의 굴절 현상을 일으켜 빛을 모으거나 물체를 확대하여 볼 수 있는 도구로 학생들에게 흥미와 호기심을 일으킨다.</p> <p>이 영역에서는 돋보기나 근시 안경 등의 렌즈에 의한 빛의 굴절을 중심으로 다룬다. 렌즈를 통해 물체의 모습이 확대되거나 축소되어 보임을 관찰하게 하고, 돋보기로 햇빛을 한 점으로 모을 수 있음을 알게 한다. 또 렌즈가 이용되는 일상생활의 예를 찾고 그 기능을 설명하게 한다.</p> <p>이 영역은 중학교 1~3학년군의 ‘빛과 파동’과 연계된다.</p> <p>빛의 경로를 그리는 활동은 지양하고 렌즈를 통해 나타나는 현상을 다룬다.</p> <p>[학습 내용 성취 기준]</p> <p>(가) 돋보기나 여러 가지 안경을 통해 보이는 물체의 모습과 실제 모습의 차이를 안다.</p> <p>(나) 돋보기를 사용하여 햇빛을 한 점으로 모을 때 나타나는 현상을 안다.</p> <p>(다) 일상생활에서 렌즈가 사용되는 예를 찾고 그 기능을 설명한다.</p> <p>(라) 렌즈를 사용한 도구를 고안한다.</p> <p>[탐구 활동]</p> <p>(가) 여러 가지 렌즈로 물체 관찰하기</p> <p>(나) 돋보기로 햇빛 모으기</p> <p>(다) 간이 사진기 만들기</p>

8 학년	<p>- 빛과 파동</p> <p>이 영역에서는 빛과 파동을 다룬다. 사람은 눈과 귀를 통하여 빛과 소리의 다양한 정보를 받아들이므로 빛과 파동에 대한 이해는 중요하다. 특히, 이 영역은 영상 기술, 미술, 음악 등 다른 교과와 밀접한 관계가 있다.</p> <p>물체를 보는 원리를 알고, 빛의 삼원색과 색의 합성을 통하여 백색광의 구성을 알고, 여러 가지 색의 빛이 합성되는 원리를 학습하여 컴퓨터 모니터나 텔레비전 화면의 다양한 색깔 표현 방식을 이해하게 한다. 빛의 진행에 대한 이해를 바탕으로, 거울에 물체가 비치는 현상에 빛의 반사 법칙을 적용하고, 렌즈에 의해 상이 생기는 원리를 빛의 굴절 법칙을 적용하여 이해하게 한다. 또한 매질에 대한 이해를 바탕으로 파동의 발생과 전파 과정을 알고 파동의 여러 가지 물리적 특성을 이해하게 한다. 이를 바탕으로 소리가 들리는 과정과 여러 가지 악기가 내는 소리의 특성을 알게 한다.</p> <p>이 영역은 3~4학년군의 ‘소리의 성질’, 5~6학년군의 ‘렌즈의 이용’에서 학습한 소재, 현상적 경험과 연계된다.</p> <p>[학습 내용 성취 기준]</p> <p>(가) 물체를 보는 원리를 안다.</p> <p>(나) 빛의 삼원색으로 다양한 빛을 합성할 수 있음을 알고, 이 원리가 영상장치에 활용되는 것을 안다.</p> <p>(다) 여러 가지 거울과 렌즈를 통해 나타나는 상을 관찰하고, 평면거울과 볼록 렌즈에 의한 상의 생성 원리를 이해한다.</p> <p>(라) 파동이 발생하는 과정과 파동의 종류를 안다.</p> <p>(마) 파동의 진행에서 반사와 굴절 현상을 이해한다.</p> <p>(바) 소리가 들리는 과정을 알고 파동의 진폭, 진동수, 파형으로부터 소리의 세기, 높낮이, 맵시를 안다.</p> <p>[탐구 활동]</p> <p>(가) 컴퓨터 모니터를 이용한 빛의 삼원색과 색의 합성 원리 탐구하기</p> <p>(나) 일상생활에서 사용되는 거울과 렌즈의 종류를 찾고 특징 비교하</p>
---------	--

	<p>기</p> <p>(다) 물결과 실험 장치를 통하여 파동의 성질 관찰하기</p> <p>(라) 파형 분석을 통한 여러 가지 악기의 특성 분석하기</p> <p>(마) 빛이나 파동 현상이 기술과 예술 등 다른 분야에서 활용되는 예를 찾아보기</p>
물리 I	<p>- 소리와 빛</p> <p>① 파동의 특성과 관련하여 소리의 굴절, 반사, 회절 등을 이해하고 소리 정보의 활용, 초음파의 의미와 발생장치 및 실생활의 이용을 안다.</p> <p>② 소리의 공명, 간섭을 이해하고 음악적 화음과 소음의 차이 및 그 응용을 안다.</p> <p>③ 소리가 마이크에서 전기신호로 변환되는 원리를 이해한다.</p> <p>④ 광전효과를 이해하고 여러 가지 광센서의 구조와 원리를 안다.</p> <p>⑤ 눈에서 색채를 인식하는 과정과 빛의 3원색의 의미를 이해하고 영상장치에서 색을 구현하는 과정을 안다.</p> <p>[탐구 활동]</p> <p>① 스피커를 만들어 음성 정보의 전기적 재생 과정 실험하기</p> <p>② 광섬유, 물줄기, 유리판에 묻힌 그늘을 등을 이용한 전반사 현상을 관찰하고 거울에서의 반사와 다른 점 알아보기</p> <p>③ 음악의 평균율에 대한 진동수를 계산하고 악기의 음계를 측정하여 비교하기</p> <p>- 정보의 전달과 저장</p> <p>① 전자기파의 스펙트럼을 이해하고 각 파동의 영역별 파장의 크기와 파장별 쓰임새를 안다.</p> <p>② 전자기파 발생과 안테나를 통한 수신과정을 이해하고 이를 바탕으로 무선통신과 방송 원리를 안다.</p> <p>③ 전반사 현상을 이해하고 광섬유에서 빛 신호 전달을 통한 광통신 과정을 안다.</p>

	<p>④ 저항, 축전기와 코일을 이용하여 전기신호의 진동수 및 크기를 조절 하는 원리를 이해한다.</p> <p>⑤ 전자기파 센서의 원리와 전자기파를 이용한 정보인식 방법을 안다.</p> <p>⑥ 정보 저장매체의 구조와 원리를 이해한다.</p>
<p>물리 II</p>	<p>- 파동의 발생과 전달</p> <p>① 파동을 진폭, 파장, 진동수, 파동속도의 함수로 표현할 수 있다.</p> <p>② 중첩의 원리와 호이겐스의 원리에 따라 파동이 진행되는 현상을 이해한다.</p> <p>③ 정상파의 공명, 굴절과 반사, 회절과 간섭 등 파동의 성질에 대해 이해한다.</p> <p>④ 도플러 효과를 이해하고 충격파가 발생하는 이유를 안다.</p> <p>[탐구 활동]</p> <p>① 기주공명을 이용한 음파의 파장 측정하기</p> <p>② 도플러 효과를 이용하여 물체의 속도 측정하기</p> <p>- 빛의 이용</p> <p>① 거울과 렌즈에 의해 상이 맺히는 원리를 이해하고 광학 기기의 구조와 원리를 안다.</p> <p>② 엑스선, 감마선, 마이크로파와 같은 여러 전자기파가 실생활에서 사용되는 예를 들 수 있다.</p> <p>③ 레이저의 원리와 종류를 이해한다.</p> <p>④ 편광의 원리와 응용에 대해 이해한다.</p> <p>[탐구 활동]</p> <p>① 두 개의 볼록렌즈를 이용하여 천체 망원경을 만들고 배율 구하기</p> <p>② 편광판을 이용한 광탄성 효과 관찰하기</p>

시중에 나와 있는 2009 개정 교육과정을 따르는 천재교과서, 천재교육, 신사고에서 출판한 8학년 교과서를 살펴보면 표 2-6과 같이 빛의 합성을 설명하면서 프리즘 및 무지개에 의한 빛의 분산을 그림으로 제시하거

나 빛의 분산을 직접적으로 다루고 있다. 이는 8학년 학생들에게 빛의 합성을 교육하는 데에 빛의 분산 또는 빛의 분산에 관한 그림이 큰 도움을 준다는 것을 의미한다.

[표 2-6] 2009 개정 교육과정 교과서에서의 빛의 분산

출판사	분산	제시된 그림
천재 교육	×	프리즘에 의한 분산 
천재 교과서	×	무지개에 의한 분산 
신사고	○	프리즘에 의한 분산 

※ 분산에서 ○은 교과서에서 직접 용어를 설명하는 등의 방법으로 직접적으로 다루고 있음을 의미하며, ×는 직접적으로 다루고 있지 않음을 의미함.

빛의 분광과 관련한 2009 개정교육과정의 중학교 과학 교육의 목표는 표 2-7과 같다.

[표 2-7] 2009 개정 교육과정에서의 중학교 과학 교육의 목표

과학 교육의 목표
<p>공통교육과정의 ‘과학’은 3학년부터 9학년까지 모든 학생들이 학습하는 교과로서 과학의 기본 개념을 이해하고 과학 탐구 능력과 과학적 태도를 함양하여 창의적이고 합리적으로 문제를 해결하는 데 필요한 과학적 소양을 기르기 위한 교과이다.</p> <p>‘과학’은 초등학교 1, 2학년의 슬기로운 생활과 고등학교 선택 교육과정의 과학, 물리Ⅰ, 화학Ⅰ, 생명과학Ⅰ, 지구과학Ⅰ, 물리Ⅱ, 화학Ⅱ, 생명과학Ⅱ, 지구과학Ⅱ 과목과 연계되도록 구성한다.</p> <p>‘과학’의 내용은 ‘물질과 에너지’와 ‘생명과 지구’의 2개 분야로 구성하되, 기본 개념과 탐구 과정이 학년군과 분야 간에 연계되도록 한다. 그리고 과학을 기술, 공학, 예술, 수학 등 다른 교과와 관련지어 통합적이고 창의적으로 사고할 수 있는 능력을 신장시키도록 한다.</p> <p>‘과학’에서는 학생 수준에 따라 관찰, 실험, 조사, 토론 등 다양한 탐구 활동 중심의 학습이 이루어지도록 한다. 개별 활동뿐만 아니라 모둠 활동을 통해 비판성, 개방성, 정직성, 객관성, 협동성 등 과학적 태도와 의사소통 능력을 기르도록 한다.</p> <p>‘과학’의 기본 개념을 학습자의 경험과 친근한 상황 속에서 지도하고, 학습한 지식과 탐구 방법으로 과학적 문제나 사회 문제를 적극적으로 해결하려는 태도를 길러 과학이 기술의 발달과 우리 사회에 영향을 미치며 이들이 상호 관련되어 있음을 인식할 수 있도록 한다.</p> <p>자연 현상과 사물에 대하여 흥미와 호기심을 가지고 탐구하여 과학의 기본 개념을 이해하고, 과학적 사고력과 창의적 문제 해결력을 길러 일상생활의 문제를 해결할 줄 아는 과학적 소양을 기른다.</p> <p>가. 자연 현상을 탐구하여 과학의 기본 개념을 이해한다.</p> <p>나. 자연 현상을 과학적으로 탐구하는 능력을 기른다.</p> <p>다. 자연 현상에 대한 흥미와 호기심을 갖고, 문제를 과학적으로 해결하려는 태도를 기른다.</p> <p>라. 과학, 기술, 사회의 관계를 인식한다.</p>

과학 교육의 목표를 보면 자연 현상을 탐구하여 과학의 기본 개념을 이

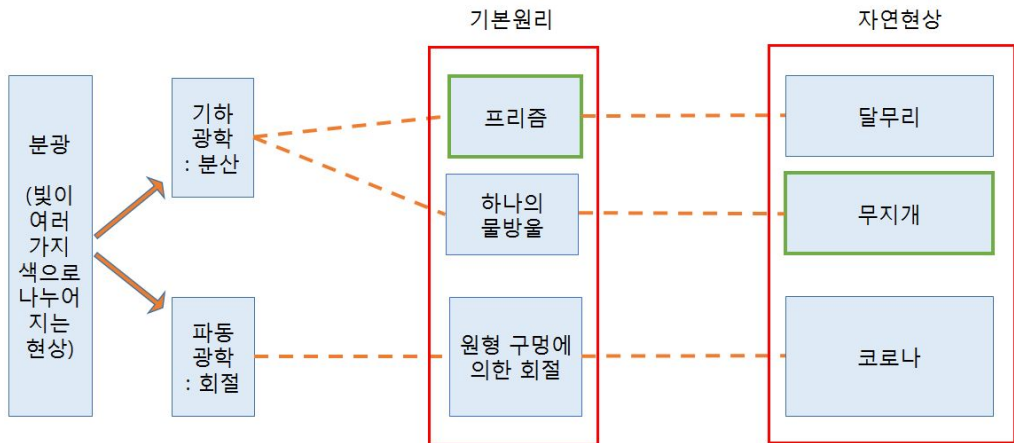
해하고, 자연 현상에 대한 흥미와 호기심을 가지며, 자연 현상을 과학적으로 탐구하는 능력을 기르는 것을 강조하고 있다. 사람들이 흥미와 호기심을 가지는 자연 현상인 무지개, 달무리, 코로나 현상을 교육에 활용하여 빛과 상에 대한 과학적인 개념을 습득하도록 하고, 관련 실험을 통해 자연 현상을 과학적으로 탐구하는 능력을 기르는 것은 교육의 목표에 매우 부합한다고 할 수 있다.

Ⅲ. 연구 방법

3.1. 연구 대상 및 방법

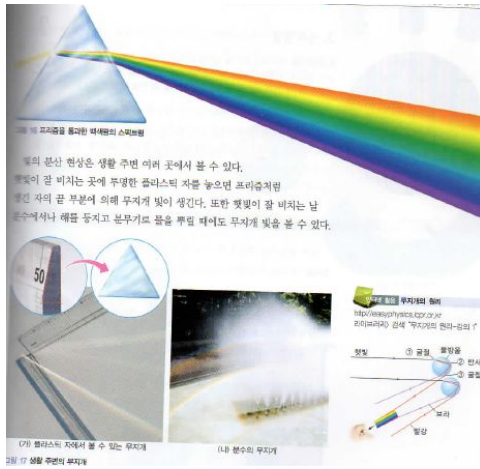
본 연구는 서울 소재 대학교에서 물리교육을 전공하고 있는 13명을 대상으로 하였다. 이들은 1학년 때 일반물리학을 수강하였고 광학 수업을 수강 중인 2학년부터 4학년 학생들 중에서 연구에 참여를 희망한 지원자들로 구성되었다. 연구 참여자 모두 사범대에 재학 중이므로 예비 교사로 호칭하였다.

분광은 빛이 여러 가지 색으로 나누어지는 현상을 설명할 수 있는 개념으로 1차 무지개와 달무리에서 관찰되는 분광은 기하광학의 분산으로 그 원리를 설명할 수 있으며, 코로나의 분광은 파동광학의 회절로 설명이 가능하다. 달무리의 분광을 설명하기 위해서는 기본적으로 하나의 육각 빙정에서 일어나는 굴절을, 무지개의 분광을 설명하기 위해서는 하나의 물방울에서 일어나는 굴절, 전반사 등을 이해하고 있어야 하며, 코로나의 분광을 설명하기 위해서는 원형 구멍에 의한 회절을 이해하고 있어야 한다. 무지개, 달무리, 코로나를 이해하기 위한 기본원리는 그림 3-1과 같이 나타낼 수 있다.



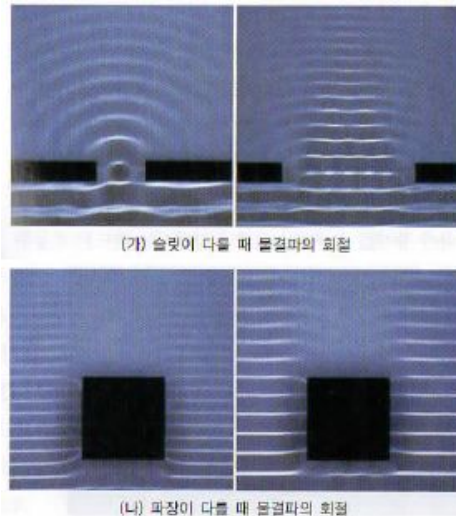
[그림 3-1] 달무리, 무지개 코로나에서 관찰되는 분광을 이해하기 위한 기본 원리

연구에 참여한 예비교사들이 배운 2007 개정교육과정의 8학년 빛의 합성과 분산 단원에서는 분산을 설명하기 위한 예시현상으로 대부분의 교과서에서 그림 3-2처럼 프리즘과 무지개를 다루고 있다. 고등학교 과정에서는 물리1 교과서의 소리와 빛 단원에서 회절의 개념을 설명하고 회절에 의한 현상으로 그림 3-3과 같은 물결과 회절을 다룬다.



[그림 3-2] 금성출판사 중2

교과서에 실린 프리즘과 관련한
그림

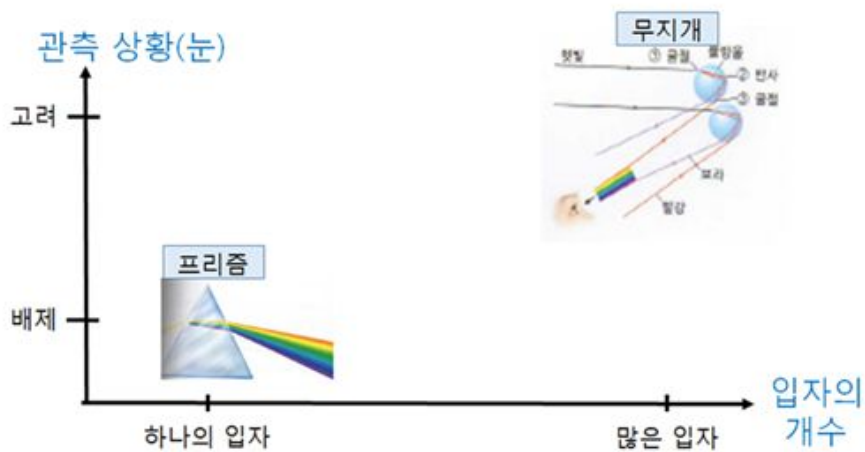


[그림 3-3] 교학사 물리1 교과서에
실린 회절과 관련한 그림

그림 3-2에 나타난 프리즘에 의한 분산과 무지개의 분산 사이의 차이점은 다음과 같다.

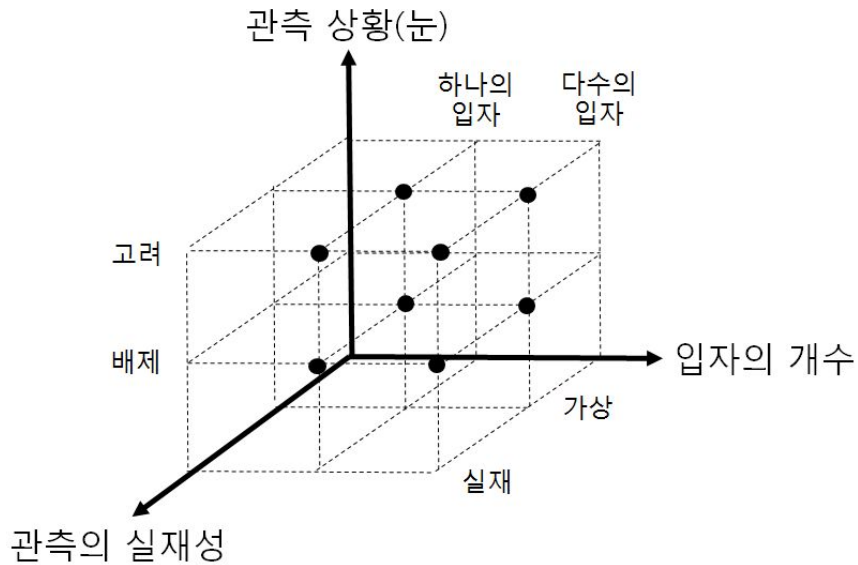
1. 눈으로 대변되는 관측 상황이 고려된다.
2. 입자의 개수가 더 많다.

이는 관측 상황과 입자의 개수를 각각 축으로 표현하여 그림 3-4처럼 나타낼 수 있다. 관측 상황은 고려와 배제로 구분하였으며, 입자의 개수는 하나와 많은 입자로 구분하였다. 교과서마다 물방울 입자의 개수는 차이가 있으나 두 개 이상이므로 ‘많은 입자’라고 표기하였다.



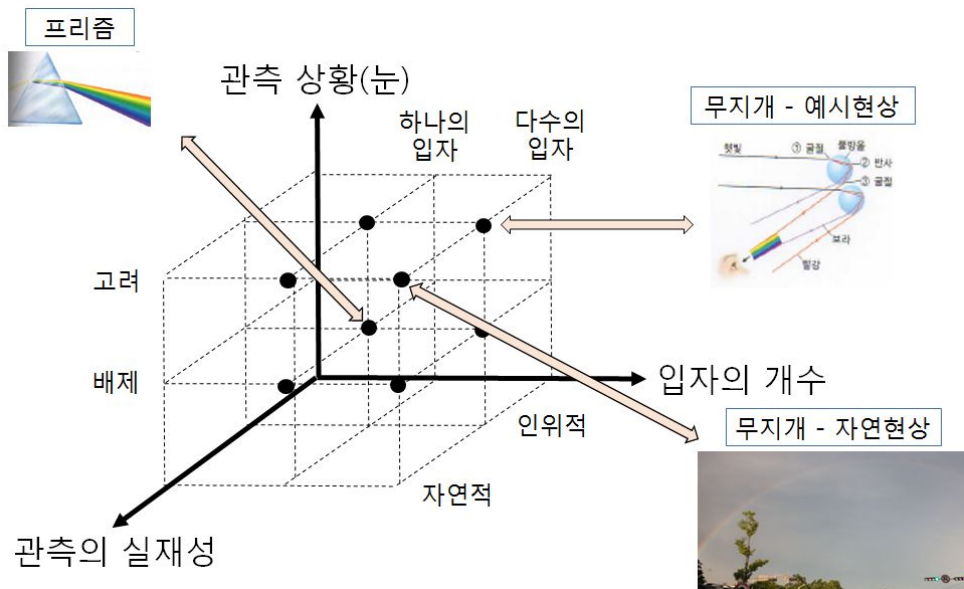
[그림 3-4] 교과서에서 제시된 프리즘과 무지개 그림 분류

본 연구에서는 이를 참고하고 관측의 실재성이라는 축을 하나 더 추가하여 그림 3-5와 같은 현상 분류틀을 사용하였다. 관측의 실재성은 실재와 가까우면 자연적, 실재와 괴리가 있으면 인위적으로 구분하였다. 예를 들어 자연에서 관찰되는 무지개는 관측의 실재성 측면에서 자연적인 상황이며, 교과서에 제시된 무지개 예시현상은 입자의 크기가 균일하고, 입자가 완벽히 구형이라는 가정이 포함되어 있으므로 관측의 실재성 측면에서 인위적인 상황인 것이다. 그림에 표시된 검은 점은 각각 3개의 축(관측 상황, 입자의 개수, 관측의 실재성)에 의해 표현될 수 있는 8개의 상황을 의미한다.



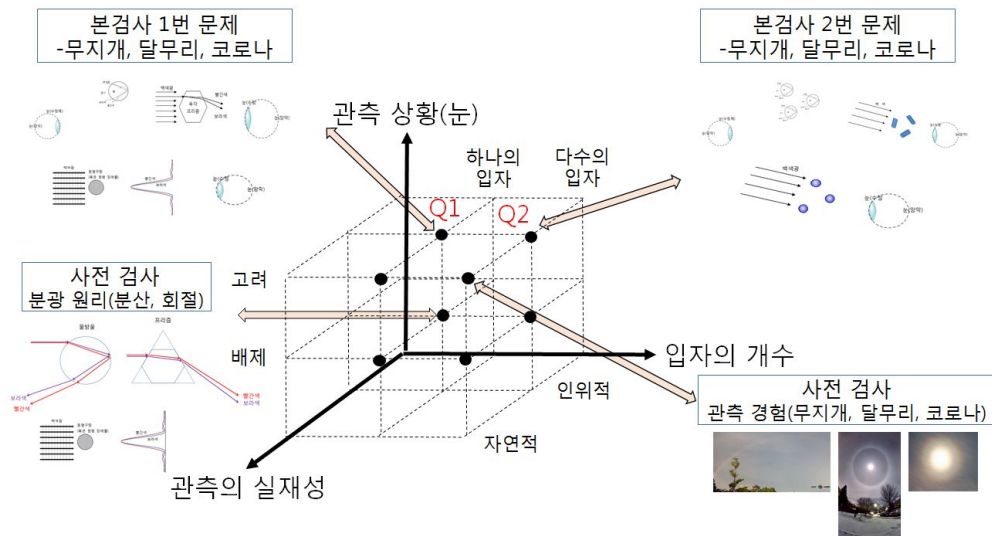
[그림 3-5] 현상 분류틀

이 분류틀에 의해 프리즘, 무지개 예시현상, 무지개 자연현상을 그림 3-6처럼 각각 분류할 수 있다. 먼저 교과서에 제시된 프리즘에 의한 분광은 하나의 입자에 의한 현상이고 관측자는 배제되어 있으며 인위적인 상황이다. 다음으로 교과서에 제시된 무지개 예시현상은 다수의 입자에 의한 현상이고 관측자를 고려한 인위적인 상황이다. 마지막으로 자연에서 관찰되는 무지개는 다수의 입자에 의한 현상이고 관측자를 고려해야 설명할 수 있으며 자연에서 관측 가능한 자연적인 상황이다.



[그림 3-6] 프리즘, 무지개 현상 분류

그림 3-5의 현상 분류틀을 이용하여 무지개, 달무리, 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대한 예비교사들의 이해 수준을 조사하기 위해 그림 3-7과 같이 사전 검사(관측 경험, 선개념, 분광의 원리 등)와 본검사(Q1, Q2)로 나누어 예비교사를 대상으로 검사를 실시하였다.



[그림 3-7] 사전 검사 및 본 검사 문항

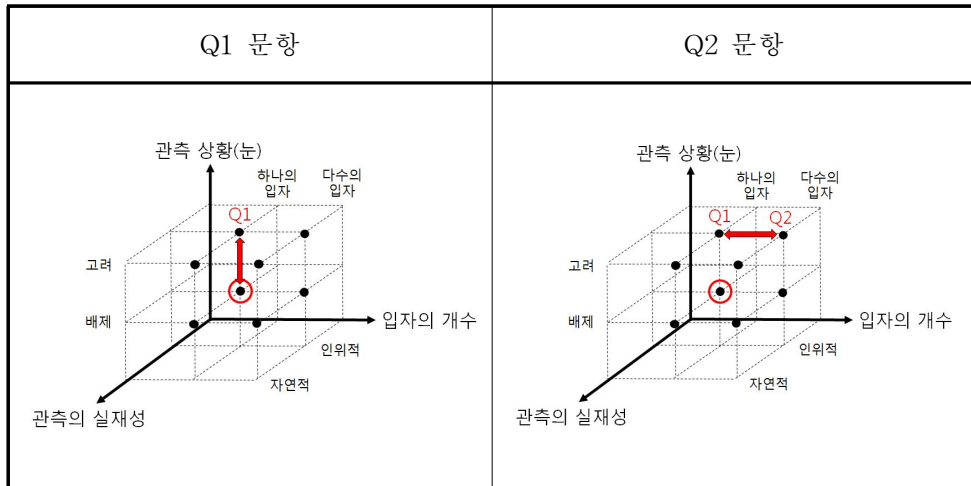
사전 검사는 본 검사를 실시하기 위한 예비 교사의 기본적인 이해 수준을 알기 위한 목적으로 실시하였는데, 사전 검사지에는 달무리와 코로나를 관측한 경험과 달무리와 코로나에서 관찰되는 분산, 회절과 관련한 분광의 원리를 알고 있는 지 조사하였다. 모든 연구 참여자들이 무지개를 관찰한 적이 있다고 하였고, 무지개가 분산의 예시현상으로 대부분의 교과서에 등장하는 등 이미 널리 알려져 있기 때문에 사전 검사지에서 무지개와 관련한 문항은 생략하였다.

사전 검사 후에는 본검사를 실시하였는데, 본검사는 두 문항(Q1, Q2)으로 구성하였다. Q1 문항은 하나의 입자를 눈으로 관측하였을 때 분광의 결과를 묻는 질문이며, Q2 문항은 다수의 입자를 눈으로 관측하였을 때 분광의 결과를 묻는 질문이다. 두 문항 모두 관측의 실재성 측면에서는 인위적이다.

Q1 문항은 기존의 교과서에서 다루고 있는 하나의 입자에서 관측 상황(눈)을 고려하였다는 점에서 Q2 문항은 Q1 문항에 비해 입자의 개수가 늘었다는 점에서 예비교사들에게 요구하는 추론은 표 3-1과 같이 나타

낼 수 있다.

[표 3-1] 문항에서 요구하는 예비 교사들의 추론



본검사(Q1, Q2) 문항의 답을 토대로 표 3-2와 같이 현상에 대한 이해 수준을 분류하였다. Q1, Q2 문항 모두에 과학적 이해에 의한 답을 한 예비교사는 현상에 대한 심층적 이해, Q2 문항만 과학적 이해에 의한 답을 한 예비교사는 현상에 대한 피상적 이해, Q1 문항만 과학적 이해에 의한 답을 하거나 Q1, Q2 문항 모두에 과학적이지 않은 이해에 의한 답을 한 예비교사는 현상을 이해하지 못한 것으로 분류하였다.

[표 3-2] 현상에 대한 이해수준 분석틀

Q1	Q2	이해 수준
과학적 이해	과학적 이해	현상에 대한 심층적 이해
과학적이지 않은 이해	과학적 이해	현상에 대한 피상적 이해
과학적 이해	과학적이지 않은 이해	현상을 이해하지 못함
과학적이지 않은 이해	과학적이지 않은 이해	

현상에 대한 이해수준을 그림 3-6의 분류틀을 이용하여 표현하면 표 3-3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 붉은 색 “○”가 의미하는 것은 질문에 대해 과학적인 답변을 하는 것을 의미하며 붉은 색 “×”가 의미하는 것은 질문에 대해 과학적이지 않은 답변을 한 것을 의미한다. 설명과 답이 모두 과학적인 경우만 과학적인 답변을 한 것으로 하였다.

[표 3-3] 현상에 대한 이해수준

Q2 Q1	과학적 이해	과학적이지 않은 이해
과학적 이해	<p>현상에 대한 심층적 이해</p>	<p>현상을 이해하지 못함</p>
과학적이지 않은 이해	<p>현상에 대한 피상적 이해</p>	<p>현상을 이해하지 못함</p>

표 3-3의 모든 유형에서 하나의 입자에 대한 관측 상황을 배제한 인위적 상황에서의 질문에 대해 과학적인 답변을 한다고 붉은 색 “○”를 표시하였다. 이는 Q1 문항의 질문에서 하나의 입자에 대한 관측 상황을 배제한 인위적 상황에서의 분산과 회절의 결과를 제시해 주기 때문이다.

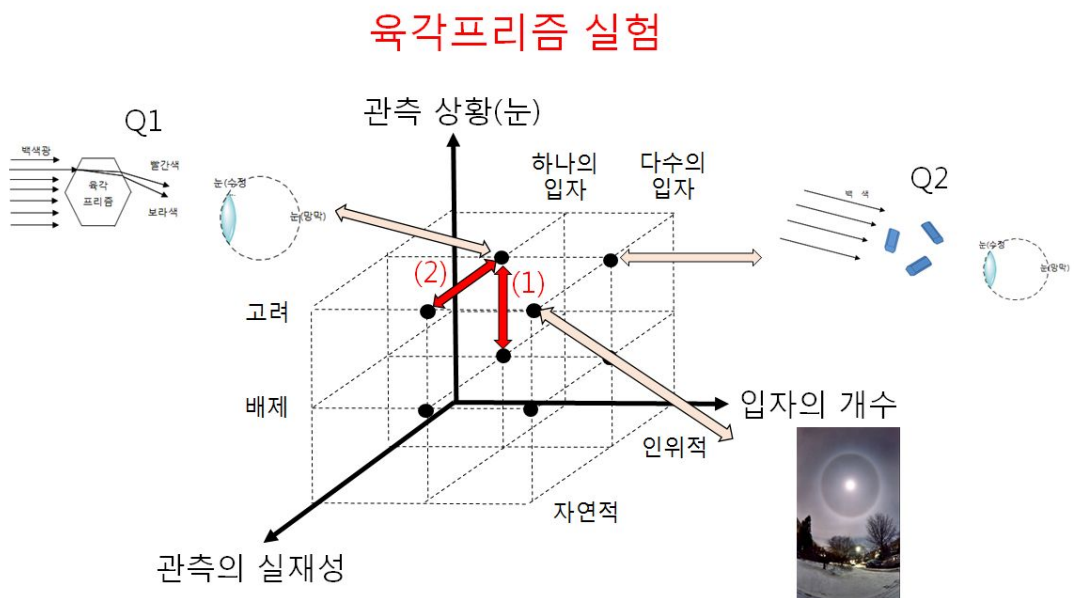
무지개, 달무리, 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대한 예비교사들의 이해 수준을 조사하기 위한 Q1, Q2 문항은 표 3-4와 같다. 두 문항 모두 관측의 실재성 측면에서는 인위적인 상황이므로 관측의 실재성 측은 생략하여 표현하였다.

[표 3-4] 이해수준을 조사하기 위한 문항

자연현상	Q1, Q2 문항
무지개	<p>관측 상황(눈)</p> <p>고려</p> <p>배제</p> <p>하나의 물방울</p> <p>많은 물방울</p> <p>입자의 개수</p>
달무리	<p>관측 상황(눈)</p> <p>고려</p> <p>배제</p> <p>하나의 빙정</p> <p>많은 수의 빙정</p> <p>입자의 개수</p>
코로나	<p>관측 상황(눈)</p> <p>고려</p> <p>배제</p> <p>하나의 빙정</p> <p>많은 수의 빙정</p> <p>입자의 개수</p>

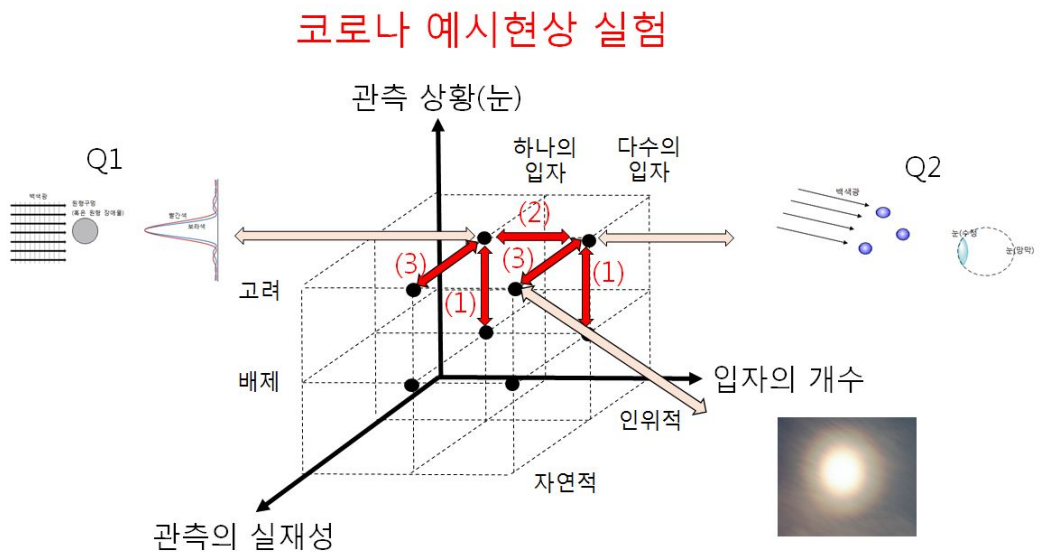
다음으로는 달무리, 코로나와 관련한 실험 수업을 개발하여 적용하였다. 무지개를 제외한 이유는 일부 학생이 무지개와 관련한 실험을 이미 경험한 적이 있었고, 학생들에게 많이 알려진 주제이므로 연구에 제한이 있기 때문이다. 실험은 실재하는 자연 현상과 문항에서 제시된 예시현상 사이에서 가교 역할을 하도록 개발하였다.

예비교사들에게 달무리와 관련된 육각프리즘 실험을 수행하게 하였다. 이 실험은 중학교 2학년 금성출판사 교과서의 내용을 참고하여 개발하였다. 그림 3-8의 화살표 (1)은 하나의 입자를 관측 상황을 고려할 수 있게 실험을 설계하였으므로, 화살표 (2)는 실험을 통해 관측을 자연적으로 할 수 있다는 점에서 그림 3-8처럼 표현하였다. 즉, 육각 프리즘 실험을 통해 예비교사들이 (1)과 (2)방향의 추론이 가능하도록 실험을 설계한 것이다.



[그림 3-8] 달무리 관련 육각 프리즘 실험

코로나와 관련한 실험으로 예비교사들에게 코로나 예시현상 실험을 수행하게 하였다. 이 실험은 허재혁(2012)의 논문을 참고하여 개발하였다. 그림 3-9의 화살표 (1)은 실험을 통해 관측 상황을 고려할 수 있게 된다는 점을 표시한 것이고 화살표 (2)는 입자의 개수를 바꿀 수 있다는 점을, 화살표 (3)은 실험을 통해 자연적으로 관측을 할 수 있게 된다는 점을 표현한 것이다. 즉, 코로나 예시현상 실험을 통해 예비교사들이 (1), (2), (3) 방향의 추론이 가능하도록 실험을 설계하였다.



[그림 3-9] 코로나 관련 코로나 예시현상 실험

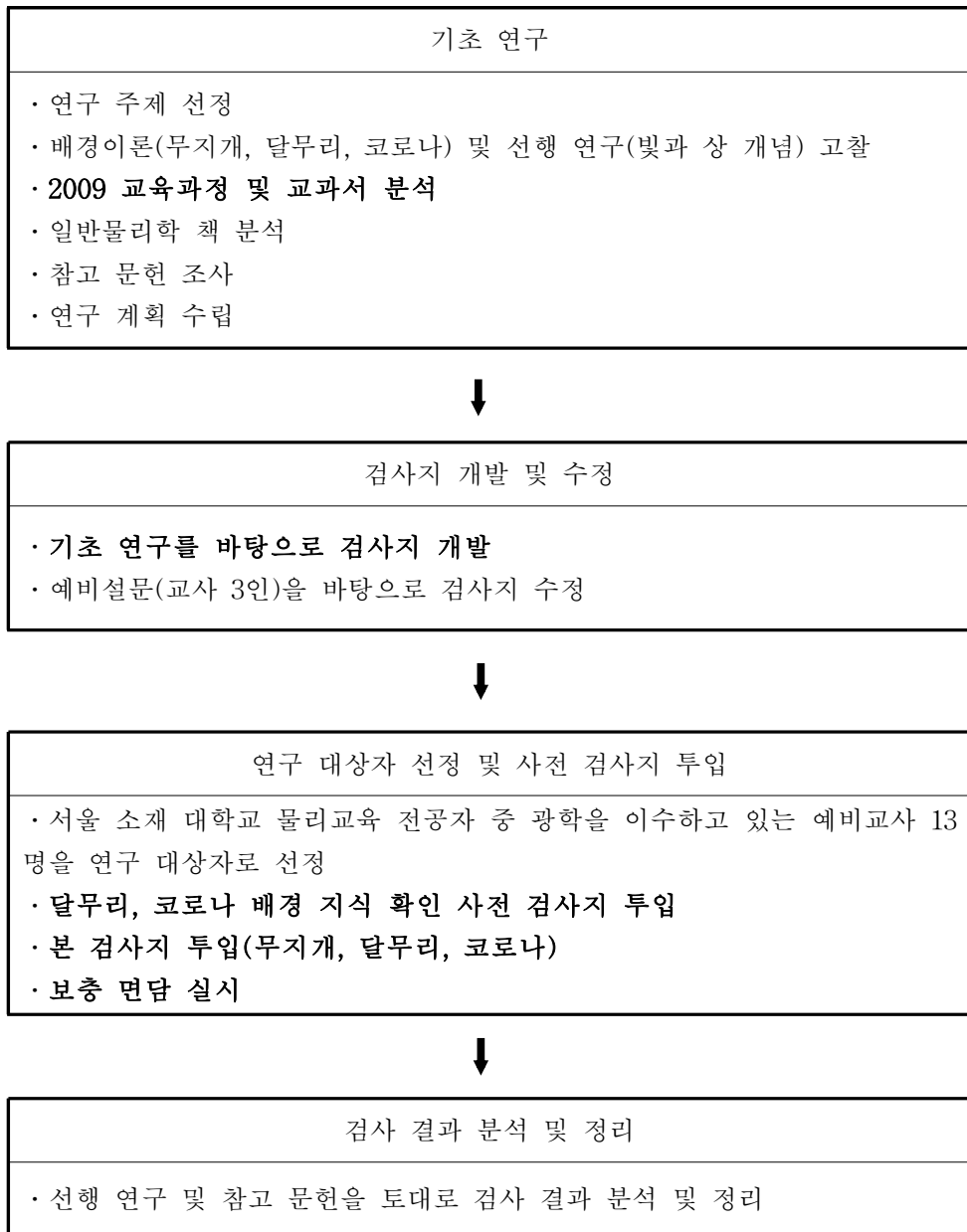
실험 수행 후에는 실험의 효과를 검증하기 위하여 사후 검사를 하였다. 사후 검사에서는 분광의 원리, 현상에 대한 이해 등을 묻고 그 결과를 사전 검사의 결과와 비교하였다.

3.2. 연구 절차

무지개, 달무리, 코로나 등에서 관찰되는 분광현상에 대한 예비교사의 이해수준과 그 원인을 알아보기 위한 연구1의 연구 과정은 표 3-5와 같다. 연구는 예비 교사들이 설문지에 응답하는 방식으로 설문에 응답하는 시간은 총 2시간이었다. 본 연구에 참여하지 않은 동일 대학에서 석사 과정 중인 3명의 교사에게 예비설문을 실시하였으며, 그 결과를 토대로 설문지를 수정하였다. 설문지는 과학교육 전문가 5명(과학교육학 박사 2명, 현직 교사 3명)이 내용 타당도를 검증하였다.

설문은 두 단계를 거쳤다. 먼저 예비교사를 대상으로 분광, 무지개, 달무리, 코로나에 대한 예비 교사의 기본적인 이해 수준을 알아보기 위해 달무리 및 코로나에 대한 배경 지식을 묻는 검사지를 투입하여 사전 검사를 실시였다. 다음으로는 무지개, 달무리, 코로나의 순서로 검사지를 투입하여 본 검사를 실시하였다. 검사지 투입 순서에서 달무리를 무지개 다음에 둔 것은 무지개는 달무리에 비해 색의 관찰이 용이하고, 중학교 2학년 과학교과서와 대학교 1학년 때 배우는 일반물리학의 교재에서 그 원리를 다루고 있기 때문이다. 본 검사는 문제 상황을 5분 정도 설명한 후에 학생에게 25분 정도의 시간을 주고 검사지를 작성하게 하였다. 본 검사의 실시 전에 코로나와 관련하여 원형 구멍과 원형 장애물에 의한 관찰 결과가 동일하다는 바비넷의 원리를 설명하였다.

[표 3-5] 연구1의 연구 절차

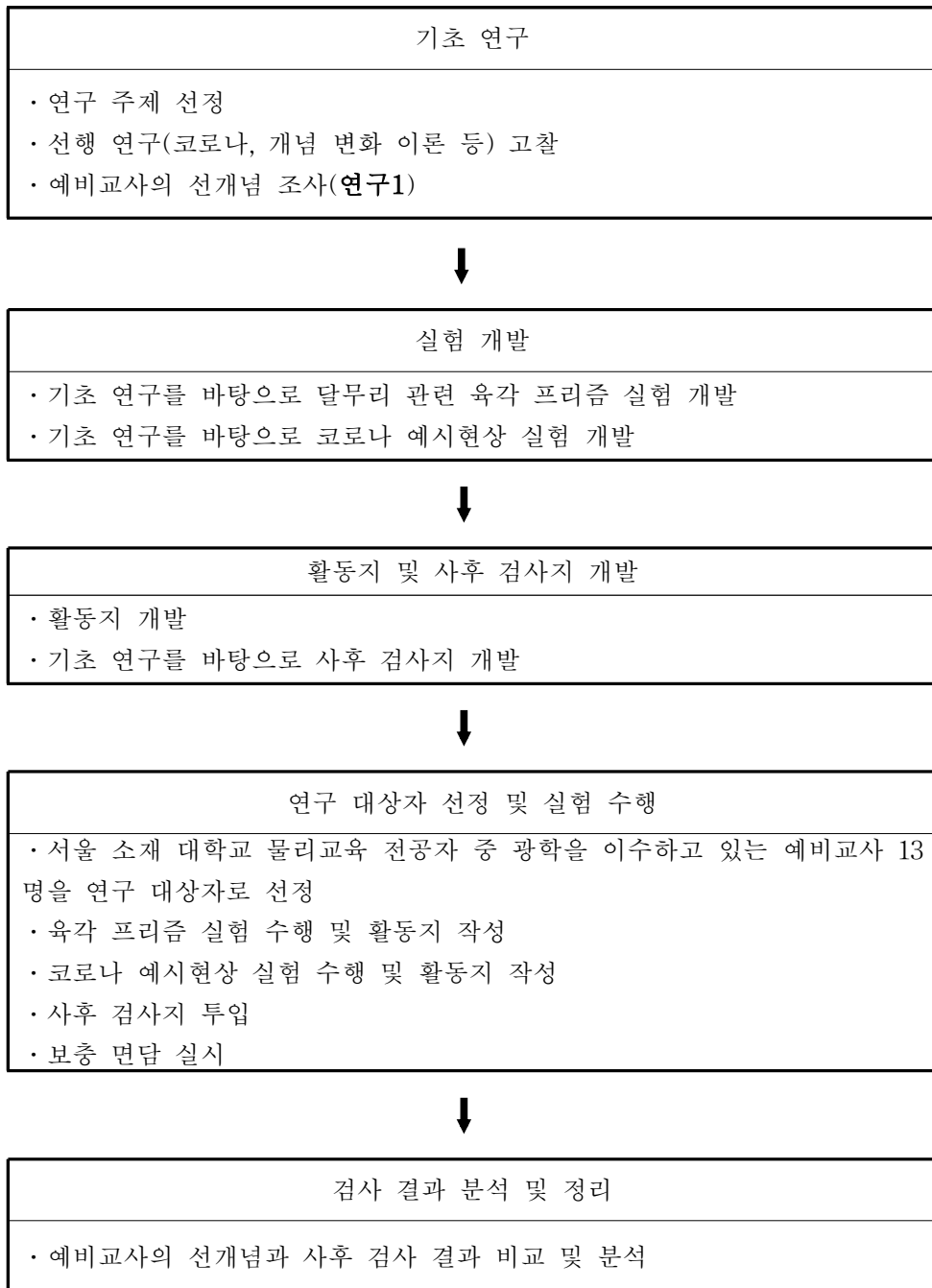


연구2의 진행 절차는 표 3-6과 같다. 먼저 연구1의 코로나에 대한 예비

교사들의 선개념 조사 분석 결과를 토대로 문제점을 분석하였다. 달무리와 관련한 육각 프리즘 실험은 금성 출판사 중학교 2학년 교과서를 참고하고, 코로나 예시현상 실험은 코로나 관련 논문 등을 참고하여 예비교사들의 선개념을 바꿀 수 있는 실험과 활동지를 개발하였다. 다음으로는 개발된 실험 수업을 예비교사들에게 적용해 보고 사후 검사지를 작성하게 하였다. 마지막으로 사전 검사지와 사후 검사지를 비교, 분석하였다.

활동지와 사후 검사지는 연구1과 마찬가지로 동일 대학에서 석사 과정 중인 3명의 교사에게 예비설문을 실시하였으며, 그 결과를 토대로 설문지를 수정하였다. 설문지는 과학교육 전문가 5명(과학교육학 박사 2명, 현직 교사 3명)이 내용 타당도를 검증하였다.

[표 3-6] 연구2의 연구 절차





3.3. 검사 문항

3.3.1. 연구1: 무지개, 달무리, 코로나 이해수준

달무리 및 코로나에 대한 배경 지식을 확인하는 사전 검사의 목적은 크게 세 가지이다. 첫째는 달무리와 코로나를 관찰한 경험이 있는지 여부를 알아보는 것이고 둘째는 달무리, 코로나의 원리를 분산, 굴절, 회절과 관련하여 알고 있는 지를 파악하는 것이며 셋째는 분광의 원리를 분산과 회절로 답하는지를 조사하는 것이다. 사전 검사지에서 무지개를 생략한 것은 모든 연구 참여자들이 무지개를 관찰한 적이 있다고 하였고, 무지개가 분산의 예시현상으로 교과서에 많이 등장하는 등 이미 널리 알려져 있기 때문이다. 배경 지식을 확인하기 위해 사용한 문항은 표 3-7과 같다.

[표 3-7] 달무리와 코로나 배경지식 검사지

문항 번호	문항 내용	조사하는 배경 지식
1	달무리를 본적이 있는가? 어떠한 모양이었는가? 자신이 생각하고 있는 달무리에 대해 그림을 그려서 설명해 보아라.	관찰 경험
2	달무리는 달에서 우리 눈으로 오는 경로 사이에 있는 물질에 의해 광학적 현상이 발생하여 나타나는 현상이다. 한 학기 동안 배운 광학적 지식을 이용하여 1번에서 그린 달무리의 특징과 연관시켜 달무리의 생성 원리를 기술해 보시오. (굴절, 반사, 간섭, 회절, 편광 등에서 필요한 단어를 포함하여)	달무리 원리
3	<p>다음 두 사진에서 자신이 달무리라고 생각하는 사진을 고르시오.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> (A) (B) </div>	달무리, 코로나 선개념
4	(A)와 (B)의 경우, 자세히 보면 색이 분해되어 보임을 확인할 수 있다. 이처럼 색이 분해되어 보이는 것은 어떠한 광학적 원리 때문인지 설명해 보자.	달무리, 코로나 분광의 원리

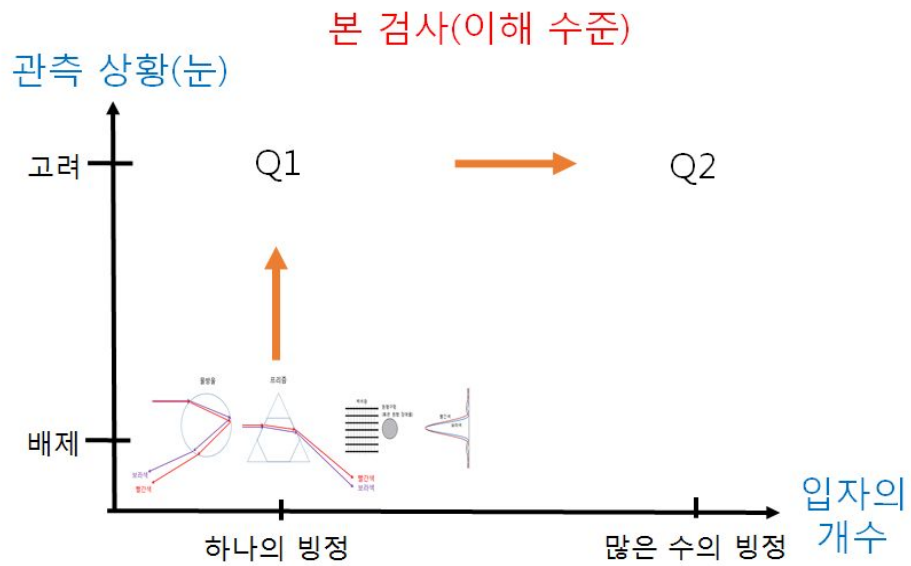
검사 후 연구자는 모든 학생들이 달무리와 코로나의 용어를 분명하게 습득하고 빛의 분광이 분산, 회절과 관련된 현상임을 알 수 있도록 설명하였다. 본 검사지는 무지개, 달무리, 코로나 모두를 질문하였고 검사 문항은 표 3-8과 같이 나타낼 수 있다.

[표 3-8] 사전 검사 및 본 검사 문항

현상	현상 이해를 위한 개념	자연 현상	사전 검사		본 검사	
			표상	개념	Q1	Q2
분광	분산	무지개	×	×	O	O
		달무리	O	O	O	O
	회절	코로나	O	O	O	O

그림 3-10과 같이 본 검사의 Q1 문항은 사전 검사 후 설명을 통해 학생들이 알고 있다고 할 수 있는 프리즘 및 물방울에 의한 분산과 원형 구멍(혹은 원형 장애물)에 의한 회절을 관측하였을 때, 관찰되는 분광의 결과를 물었다. 코로나와 관련한 Q1 문항에서 원형 구멍 또는 원형 장애물이라고 한 것은 원형 구멍과 원형 장애물은 본질적으로 다르지만 관찰 결과는 동일하기 때문이다. 이와 관련하여 연구에 참여한 예비교사들에게 바비넷의 원리를 설명하였다.

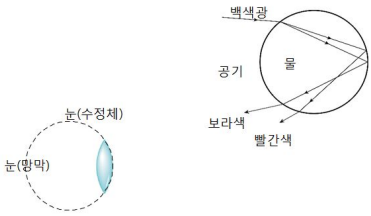
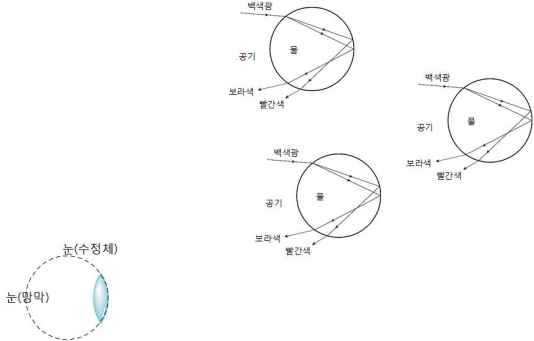
Q2 문항은 Q1 문항과 비교해 물방울 또는 빙정의 개수가 많아진다는 조건을 문제에 제시한 후 이에 따라 예상되는 분광의 결과를 물었다. 이는 무지개, 달무리, 코로나의 자연에서 관찰되는 현상의 결과와 일치한다.



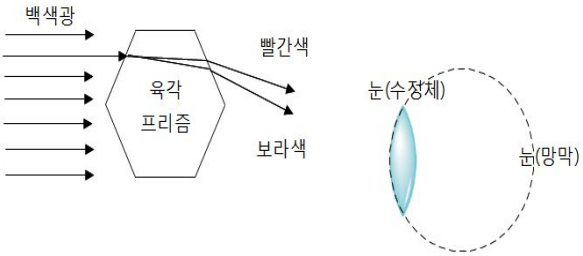
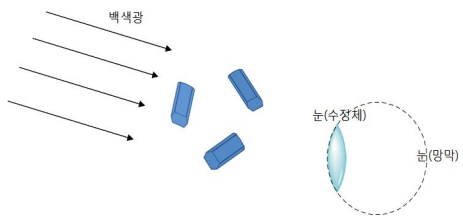
[그림 3-10] 본 검사의 Q1 문항과 Q2 문항

무지개, 달무리, 코로나와 관련한 본 검사지의 문항은 각각 표 3-9, 3-10, 3-11와 같다.

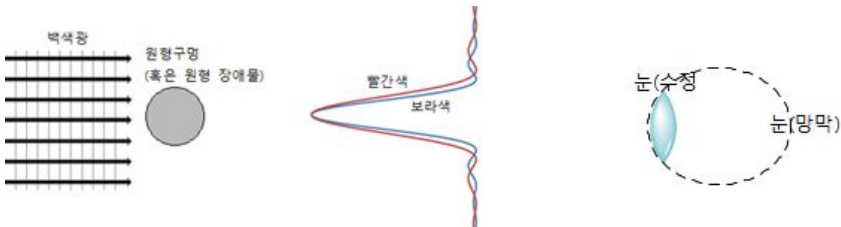
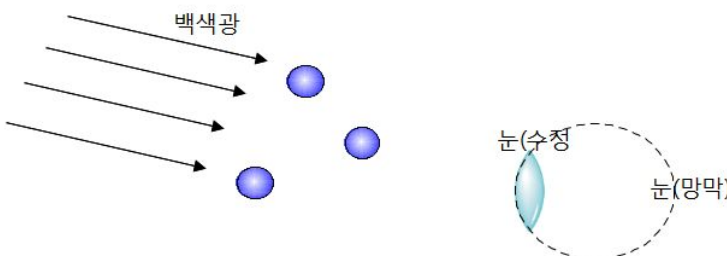
[표 3-9] 무지개와 관련한 본 검사지

문항 번호	문항 내용
Q1	<p>아래 그림은 우리 눈으로 “물방울 한 개”를 보고 있는 것을 나타낸 것이다. 우리 눈으로 “물방울 한 개”를 바라볼 때, 빛은 어떻게 분산되는가? 빨간색과 보라색의 위치를 포함하여 무지개를 그려보아라.</p> 
Q2	<p>무지개는 아래의 그림과 같이 우리 눈으로 매우 멀리 떨어진 “물방울 여러 개”를 바라볼 때이다. 무지개에서 관찰되는 빛은 어떻게 분산되는가? 빨간색과 보라색의 위치를 포함하여 무지개를 그려보아라.</p> 

[표 3-10] 달무리와 관련한 본 검사지

문항 번호	문항 내용
Q1	<p>아래 그림은 육각기둥 형태의 프리즘에 백색광이 입사했을 때, 입사되는 광선 중 하나가 굴절되는 경로와 굴절된 빛을 눈으로 보는 것을 모식적으로 나타낸 것이다. 우리 눈으로 바라볼 때, 어떠한 무늬(혹은 색의 배열)를 볼 수 있을까? 빨간색과 보라색의 위치를 포함하여 그려보아라.</p> 
Q2	<p>아래 그림과 같이 만약 백색광(달빛)과 우리 눈 사이에 매우 작은 많은 육각기둥 형태의 프리즘이 무작위로 위치해 있다고 할 때, 백색광(달빛)을 바라보는 우리 눈에서는 어떠한 무늬(혹은 색의 배열)가 관찰될 지 예상하여 빨간색과 보라색의 위치를 포함하여 그려보아라.</p> 

[표 3-11] 코로나와 관련한 본 검사지

문항 번호	문항 내용
Q1	<p>아래 그림은 반지름이 R인 원형 구멍(혹은 원형 장애물)에 백색광을 입사시켰을 때, 빛의 파동적인 특성을 인해 스크린에 회절무늬가 생기는 것을 모식적으로 나타낸 것이다. 만약 스크린의 위치에 눈을 위치시키고, 구멍(혹은 원형 장애물)을 바라본다면 어떠한 회절무늬가 보이겠는가? 회절무늬에서 빨간색과 보라색의 위치를 포함하여 그려보아라.</p> 
Q2	<p>아래 그림과 같이 만약 백색광(달빛)과 우리 눈 사이에 매우 작고 많은 구 형태의 장애물이 무작위로 위치해 있다고 할 때, 백색광(달빛)을 바라보는 우리 눈에서는 어떠한 (코로나)무늬가 관찰될 지 예상하여 그려보아라.</p> 

3.3.2. 연구2: 달무리, 코로나 실험 수업의 효과

달무리와 관련한 실험인 육각프리즘 실험은 중학교 2학년 금성출판사 교과서의 내용을 참고하여 개발하였으며, 코로나와 관련한 예시현상 실험은 기존 논문을 참고하여 개발하였다. 개발된 실험의 효과를 검증하기 위하여 두 가지 설문을 하였다. 하나는 실험 수행 중에 작성하는 활동지이고, 다른 하나는 사후 검사지이다.

육각 프리즘 실험의 활동지는 표 3-12와 같이 총 3문항으로 구성하였다. 예비 교사들은 백색광을 이용하여 육각기둥을 돌려가며 실험을 하게 하였다. 1번 문항의 관찰 상황은 스크린을 통해서이고 2번 문항의 관찰 상황은 눈을 통해서이므로 두 문항의 관찰 상황에는 차이가 있다. 1번 문항의 목적은 예비교사들에게 분광의 결과를 주의 깊게 관찰하고 실상에 대한 과학적 개념을 형성하는 것이고, 2번 문항의 목적은 허상에 대한 과학적 개념을 형성하고 달무리와 관련한 본 검사 Q1 문항과의 인지 갈등을 일으키는 것이다. 2번 문항은 본 검사 Q1 문항의 결과를 확인할 수 있는 실험으로 본 검사 Q1 문항에 실험 결과와 다른 답을 한 예비교사들은 인지 갈등을 겪을 것으로 예상된다. 1번 문항과 2번 문항은 공통적으로 예비교사들 스스로 최소 편이각을 생각해보도록 하였다. 최소 편이각은 중, 고등학교 교육과정에는 다루고 있지 않지만 대학교 광학 수업시간에 다루었던 주제이다. 3번 문항은 실험 결과를 달무리와 연관하여 설명해 보도록 하였다.

[표 3-12] 육각프리즘 실험 활동지

번호	문항 내용
지시 사항	육각기둥에 물을 담은 후 육각기둥 뒤에는 스크린을 세우고, 육각기둥 앞에서 광원을 비춘 후 스크린을 관찰하시오.
문항 1	육각기둥으로 입사하는 빛의 입사 각도를 바꿔주기 위해 육각기둥을 회전시키면서 어떠한 무늬(혹은 색깔)가 나타나는지 관찰해 보고, 관찰 결과의 특징적인 점을 그리시오.
지시 사항	육각기둥에 물을 담은 후 육각기둥 앞에서 한 명은 광원(백색 LED)을 비추고, 다른 한명은 육각기둥 뒤에서 관찰하시오.
문항 2	육각기둥으로 입사하는 빛의 입사 각도를 바꿔주기 위해 육각기둥을 회전시키면서 어떠한 무늬(혹은 색깔)가 나타나는지 관찰해 보고, 관찰 결과의 특징적인 점을 그리시오.
문항 3	위의 실험 결과를 이용하여 앞에서 본 달무리 현상과 연관지어 설명해 보시오.



코로나 예시현상 실험 활동지는 표 3-13과 같이 총 3 문항으로 구성하였다. 예비 교사들은 3가지 광원(붉은 색 LED, 녹색 LED, 촛불)과 3가지 크기(50 μm , 60 μm , 70 μm)의 3가지 종류(단일한 원형 구멍, 원형 점, 코로나 예시현상)의 마스크를 이용하여 실험한 후 검사지의 3문항에 답하였다. 1번 문항은 예비교사들에게 원형 구멍과 원형 점을 관찰하게 하여 바비넷의 원리와 구멍의 크기에 따라 회절 무늬가 어떻게 바뀌는지를 질문하였다. 2번 문항은 코로나 예시현상 마스크에 인쇄된 원형 점의 크기를 바꿔가며 관찰하게 하였다. 이 문항의 목적은 코로나에서 관찰되는 분광이 점의 크기와 관련된다는 점과 1번 문항과 같은 결과가 관찰된다는 것을 알게 하는 것이다. 3번 문항은 실험 결과를 코로나와 연관하여 설명하도록 하였다.

[표 3-13] 코로나 예시현상 실험 활동지

번호	문항 내용
지시 사항	실험 장소를 어둡게 하고, 점광원(LED or 촛불)을 설치한 후, 관찰 위치로부터 약 1m이상 떨어뜨려 놓자.
문항 1	Graphic Art film에 인쇄된 Mask를 가지고, 점광원을 관찰해 보고, 관찰한 무늬를 아래에 그려서 특징을 설명하시오. 참고로 Mask에는 미세한 원형 점과 원형 구멍이 각각 인쇄되어 있다.
문항 2	코로나 예시현상 Mask를 이용하여 점광원을 관찰해 보고, 관찰한 무늬를 아래에 그려서 특징을 설명하시오. Mask의 점의 크기를 바꿔가면서 점광원을 관찰해보고, 점의 크기에 따라 관찰되는 무늬에 어떠한 변화가 생기는지 설명해 보시오.
문항 3	위의 실험 결과를 코로나 현상과 연관지어 설명해 보시오.

사후 검사지는 표 3-14와 같이 총 2문항으로 구성하였다. 예비교사들에게 달무리와 코로나의 분광의 결과와 분광의 원리를 아는지 확인하기 위하여 이와 같은 문항을 제시하였다. 1번 문항은 분광의 원리를 달무리, 코로나와 연관하여 설명하게 하였으며, 2번 문항은 새로 알게 된 내용, 어려운 내용, 이해되지 않는 내용을 물었다. 이 검사의 목적은 검사 결과를 사전 검사와 비교하는 것이다.

[표 3-14] 사후 검사지

문항 번호	문항 내용			
Q1	<p>다음 두 사진은 하나는 달무리, 다른 하나는 코로나 사진이다. 각각의 현상을 설명해 보시오.(색이 분해되는 원리를 포함시키고, 두 현상을 구분 짓는 특징을 광학적 원리를 이용하여 설명해 보시오.)</p> <div><div></div><div>(A)</div></div> <div><div></div><div>(B)</div></div>			
Q2	<p>오늘 활동을 통해 새로이 알게 된 내용, 어려웠던 내용이나, 아직 이해가 되지 않는 부분을 적어주세요.</p> <table border="1"><tr><td>[새로 알게 된 내용]</td></tr><tr><td>[어려운 내용]</td></tr><tr><td>[이해되지 않는 내용]</td></tr></table>	[새로 알게 된 내용]	[어려운 내용]	[이해되지 않는 내용]
[새로 알게 된 내용]				
[어려운 내용]				
[이해되지 않는 내용]				

3.4. 문항 분석틀

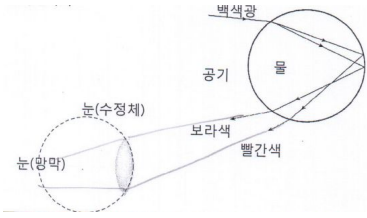
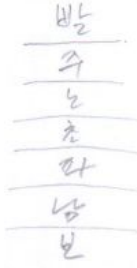
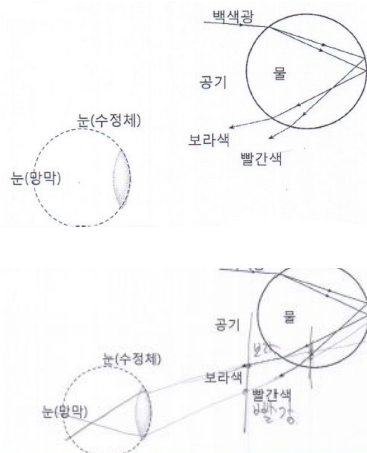
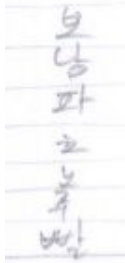

본 검사의 모든 문항에서는 연구 참여자들에게 분광의 결과와 설명(결과를 도출하는 과정)을 답하도록 하였다. Treagust(2003), 박정우(2011) 등에 의하면 현상을 과학적으로 이해하고 있는 연구 참여자의 검사 결과를 살펴보면 결과뿐만 아니라 설명도 과학적이다. 설명과 빛의 분광 결과 간의 관계를 보기 위하여 먼저 학생들의 응답을 표 3-15처럼 유형화하였다. 이 중 빛의 분산 결과와 설명이 모두 과학적인 유형인 $E_S R_S$ 만을 과학적 이해(Scientific understand)로 보았다.

[표 3-15] 학생들의 답변 유형 분석틀

설명(E) \ 결과(R)	과학적(S)	비과학적(N)
과학적(S)	$E_S R_S$ - 과학적 이해 (Scientific understand)	$E_S R_N$
과학적이지 않은(N)	$E_N R_S$	$E_N R_N$

설명과 결과의 과학적인 답변과 과학적이지 않은 답변은 표 3-16처럼 구분하였다. 광선추적을 바르게 한 경우는 과학적인 설명이라고 하였으며, 광선추적을 하지 않거나 광선 추적을 잘 못한 경우에는 과학적이지 않은 설명이라고 하였다. 분광의 결과는 위쪽부터 빨간색, 주황색, 노란색, 초록색, 파란색, 남색, 보라색이라고 답한 경우 과학적인 결과라고 하였으며 위쪽부터 보라색, 남색, 파란색, 초록색, 노란색, 주황색, 빨간색이라고 답하거나, 위쪽은 빨간색 아래쪽은 보라색이고 중간은 백색이라고 답한 경우 과학적이지 않은 답변이라고 하였다. 답하지 않은 경우는 아직 예비교사의 이해가 과학적 이해에 도달하지 못한 것으로 생각하여 과학적이지 않은 설명 또는 답변이라고 하였다.

[표 3-16] 과학적인 답변과 비과학적인 답변의 구분 예시 - 무지개

문항 답변	설명(E)	결과(R)
과학적(S)		
과학적이지 않은(N)		 

무지개, 달무리, 코로나에서 관찰되는 분산 현상에 대한 예비교사들의 이해 수준을 분석하기 위해 Q1 문항과 Q2 문항을 이용하여 표 3-17처럼 네 가지 유형(S_1S_2 , S_1N_2 , N_1S_2 , N_1N_2)으로 유형화 하였다. S_1 과 S_2 는 각각 Q1 문항과 Q2 문항을 과학적으로 이해한 것을 표현한 것으로 표 3-15의 설명과 결과를 모두 과학적으로 답변($E_S R_S$)한 예비교사이다. N_1 과 N_2 는 각각 Q1 문항과 Q2 문항을 과학적으로 이해하지 못한 것을 표현한 것으로 표 3-15의 설명 또는 결과를 과학적으로 답변하지 못한

($E_S R_N$, $E_N R_S$, $E_N R_N$) 예비교사들이다.

Q1 문항과 Q2 문항을 모두 과학적으로 이해한 $S_1 S_2$ 유형은 현상을 심층적으로 이해한다고 할 수 있으며, Q1 문항은 과학적으로 이해하지 못하였으나 Q2 문항은 과학적으로 이해한 $N_1 S_2$ 유형은 현상을 피상적으로 이해하고 있다고 할 수 있다.

[표 3-17] 이해 수준 분석틀

Q1 \ Q2	Q2	
	과학적 이해	과학적이지 않은 이해
과학적 이해	<p>$S_1 S_2$ type</p> <p>현상에 대한 심층적 이해</p>	<p>$S_1 N_2$ type</p> <p>현상을 이해하지 못함</p>
	<p>$N_1 S_2$ type</p> <p>현상에 대한 피상적 이해</p>	<p>$N_1 N_2$ type</p> <p>현상을 이해하지 못함</p>

달무리에서 관찰되는 빛의 분산과 무지개에서 관찰되는 빛의 분산은 그 원리가 같으므로 두 답변 간의 관계를 보았다. 이는 달무리와 무지개에서 관찰되는 분산의 원리와 같으므로 달무리 문항의 응답이 앞서 실시한 무지개 문항과의 관계를 비교한 것이다. Clough(1986) 등에 의하면 대안적 개념은 과학적 개념에 비해 덜 일관적으로 사용된다고 하였다. 따라서 대안적 개념을 가진 예비교사는 인지 갈등을 일으킬 것으로 생각된다.

두 답변의 관계를 분석하기 위한 비교틀은 표 3-18과 같다. C는 무지개의 이해 수준과 달무리의 이해수준이 일관된 것을 의미하며, I는 무지개의 이해 수준과 달무리의 이해수준이 일관되지 않음을 의미한다. 따라서 일관되지 않은 이해 수준의 예비교사들의 인지 갈등과 개념 변화를 살펴볼 것이다.

[표 3-18] 무지개와 달무리 답변 비교틀

무지개 달무리		유형			
		S_1S_2	S_1N_2	N_1S_2	N_1N_2
유 형	S_1S_2	C	I	I	I
	S_1N_2	I	C	I	I
	N_1S_2	I	I	C	I
	N_1N_2	I	I	I	C

※ C는 일관된, I는 일관되지 않은 이해수준을 의미함.


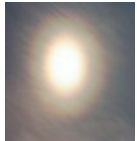

IV. 연구1 : 무지개, 달무리, 코로나 이해수준

4.1. 예비교사들의 이해수준

4.1.1 달무리, 코로나에 대한 선개념

총 13명의 예비교사들 중에 10명의 예비 교사는 달무리를 본 적이 있다고 답하였으며, 3명의 예비 교사는 본적이 없다고 답하였다. 그러나 달무리의 선개념에 관한 표 4-1을 보면 달무리의 사진을 달무리라고 답한 예비교사는 1명밖에 없다. 9명의 예비교사는 달에 의한 코로나 사진을 달무리라고 답하였으며, 2명의 예비 교사는 달에 의한 코로나와 달무리 모두를 달무리라고 답하였다.

[표 4-1] 달무리의 선개념 응답 분포

달무리		인원(명)	연구 참여자
달무리 사진		1	9
코로나 사진		9	1, 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 13
달무리, 코로나 모두		3	4, 8, 12

대다수의 예비교사들이 달에 의한 코로나 사진을 달무리라고 답한 이유를 알아보기 위해 예비 교사에게 4-2처럼 인터뷰를 하였다

[표 4-2] 6번 참여자와의 인터뷰

연구자: 왜 (A)를 달무리라고 답하였니?

6번 참여자: 달무리는 달 근처에 있어야 할 것 같아요.

연구자: 그래? (B)도 달 근처에 있는 거 아냐?

6번 참여자: (B)도 달 근처라면, (A), (B) 모두가 달무리 인 것 같아요.

인터뷰에 의하면 예비교사들은 달에 의한 코로나는 달 주위에서 관찰되지만 달무리는 달과 일정 각도만큼 떨어져서 보이므로 달무리보다 코로나를 달무리에 가깝다고 느끼는 것 같았다. 물론 대다수의 예비교사들이 달에 의한 코로나 사진을 달무리라고 답한 이유에 대해서는 추가 연구가 필요하지만, 학생 및 교사들을 대상으로 달무리 및 코로나에 관한 연구를 할 때는 연구 참여자의 선개념을 조사하고 용어를 명확히 정의할 필요가 있다.

4.1.2 달무리, 코로나의 분광 원리

달무리에서 관찰되는 분광의 원리를 묻는 질문에 표 4-3과 같이 분산, 산란, 간섭, 회절이라고 답하였다. 총 13명의 예비교사들 중 8명의 예비교사들이 분광의 원리를 분산이라고 답하였다.

[표 4-3] 달무리에서 관찰되는 분광의 원리

달무리에서 관찰되는 분광의 원리	달무리 선개념	인원(명)	연구 참여자
분산※	달무리 사진	1	9
	코로나 사진	5	1, 2, 3, 5, 10
	달무리, 코로나 모두	2	4, 8
산란	코로나 사진	1	12
간섭	코로나 사진	2	4, 8
회절	달무리, 코로나 모두	2	6, 7

※ 과학적인 답변

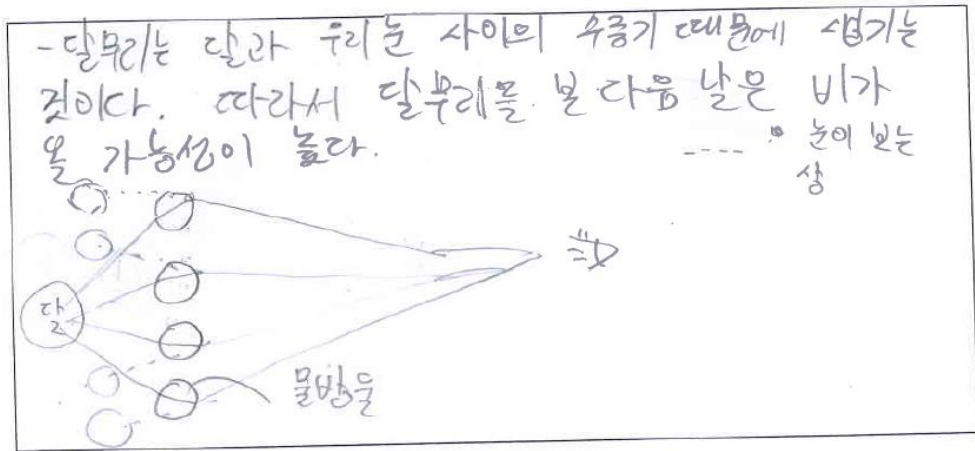
달무리라는 현상을 잘 모르는 예비교사들이 달무리에서 관찰되는 분광의 원리를 묻는 질문에 대다수가 분산이라고 답하였다. 분광의 원리를 예비교사들에게 질문하였을 때의 응답 결과는 표 4-4와 같다. 분광의 원리를 묻는 질문에 모든 예비교사들이 분산이라고 답 하였으나 분산 및 회절을 답한 예비교사는 2명밖에 없었다.

[표 4-4] 분광의 원리

분광의 원리	인원(명)	참여자
분산	8	1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 13
분산, 산란	1	12
분산, 간섭	2	5, 11
분산, 회절	2※	6, 7

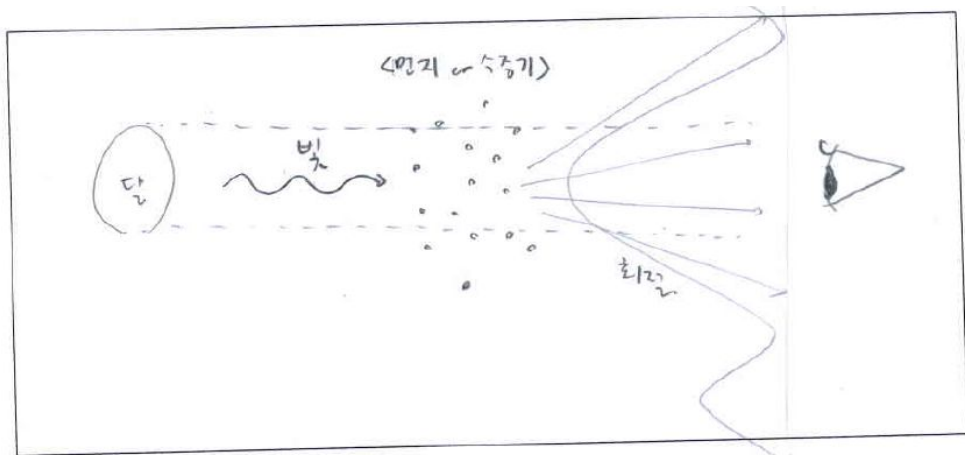
※ 과학적인 답변

분광의 원리를 분산이라고 답한 예비 교사의 달무리에서 관찰되는 분광에 대한 설명은 그림 4-1과 같다. 달무리를 속담으로는 알고 있으나 달무리에서 관찰되는 분광을 제대로 안다고 하기는 어렵다.



[그림 4-1] 분산을 분광의 원리라고 답한 예비교사의 달무리 설명

굴절과 회절을 분광의 원리라고 답한 예비 교사의 달무리 설명은 그림 4-2와 같다. 이 예비교사는 달무리의 원리를 코로나의 원리인 회절로 설명하고 있다.



[그림 4-2] 회절을 분광의 원리라고 답한 예비교사의 달무리 설명

4.1.3 무지개에서 관찰되는 빛의 분산

연구 참여자들의 Q1 문항과 Q2 문항에 대한 응답 유형은 표 4-5와 같다. Q1 문항의 정답률은 23 %이며, Q2 문항의 정답률은 77 %이다. Q2 문항은 Q1 문항에 비해 물방울의 개수가 많아지고, 충분히 멀다는 조건이 있음에도 불구하고 정답률이 더 많다는 것은 예상 밖의 흥미로운 결과이다.

[표 4-5] 무지개에서 관찰되는 분산의 응답 유형

문제	응답 유형		인원(명)	응답률	참여자
Q1	과학적인 이해(S_1)	$E_S R_S$	3	23 %	2, 7, 11
		$E_S R_N$	7	54 %	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9
	비과학적인 이해(N_1)	$E_N R_S$	1	8 %	12
		$E_N R_N$	2	15 %	10, 13
Q2	과학적인 이해(S_2)	$E_S R_S$	10	77 %	1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 13
		$E_S R_N$	2	15 %	7, 11
	비과학적인 이해(N_2)	$E_N R_S$	0	0 %	
		$E_N R_N$	1	8 %	5

연구 참여자들의 무지개에서 관찰되는 분산의 이해수준은 표 4-6과 같다. 중학교 때 배우는 무지개의 원리를 심층적으로 이해하고 설명한 예비교사가 1명밖에 없다는 점에서 예비교사들도 무지개의 원리를 설명하는데 큰 어려움이 있다.

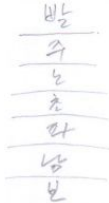
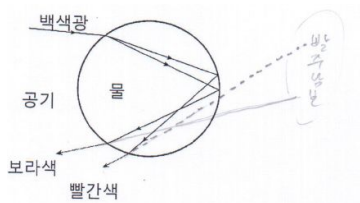
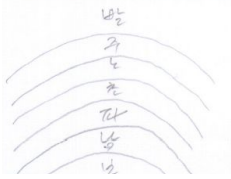
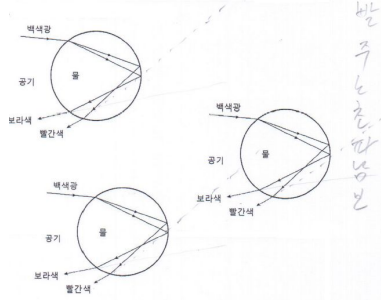
[표 4-6] 무지개에서 관찰되는 분광의 이해수준

이해 수준	응답 유형	인원(명)	응답률	참여자
심층적 이해	$S_1 S_2$	1	8 %	2
피상적 이해	$N_1 S_2$	9	69 %	1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 13
이해하지 못함	$S_1 N_2$	2	15 %	7, 11
	$N_1 N_2$	1	8 %	5

1) 현상에 대한 심층적 이해(S₁S₂) 유형- 1명

무지개에서 관찰되는 분광을 심층적으로 이해하고 있는 예비교사 유형으로 설문의 응답 결과는 표 4-7과 같다. 상과 눈에 대하여 과학적인 개념을 가지고 있다.

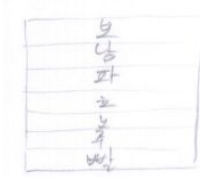
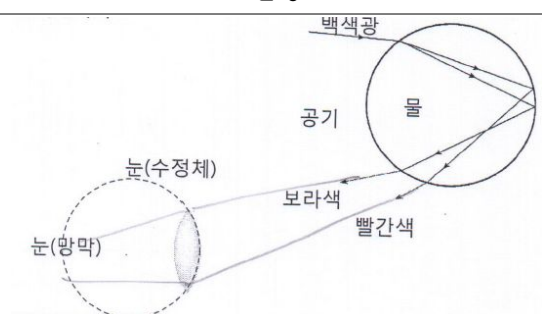

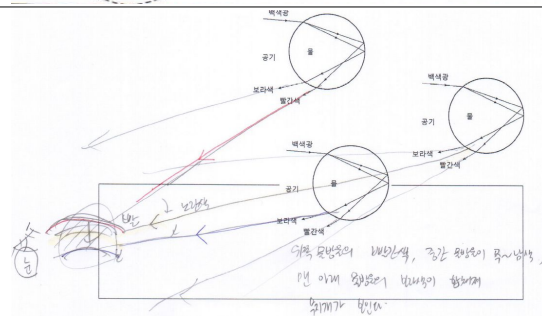
[표 4-7] S₁S₂ 유형의 응답

문항	답(R)	설명(E)
Q1		
Q2		 <p>백색광(광선)은 더 위에서 오는 것 처럼 보이고 보라색(광선)은 더 아래에서 오는 것 처럼 보이기 때문이지...</p>

2) 현상에 대한 피상적 이해(N₁S₂) 유형 - 9명

무지개에서 관찰되는 분광을 피상적으로 이해하고 있는 예비교사로 그 예비교사의 응답 결과는 표 4-8과 같다. 이 유형의 예비교사는 현상에 대한 심층적 이해(S1S2) 유형의 예비교사들이 상을 찾기 위해 광선을 추적한 것과 달리 수정체 앞에 도달하는 빛을 광선 추적을 통해 알아내려고 하였다. 이 유형은 상에 대해 과학적인 개념을 가지고 있지 않다고 할 수 있으며, Q1 문항에서는 과학적이지 않은 이해를 바탕으로 한 답변을 했던 예비교사들이 Q2 문항에서는 과학적인 이해를 바탕으로 한 답변을 한다는 것은 흥미로운 결과이다.

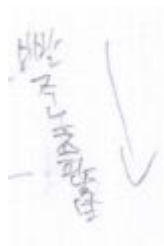
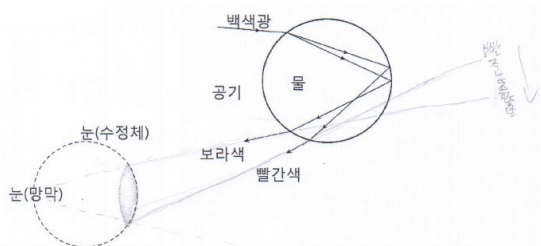

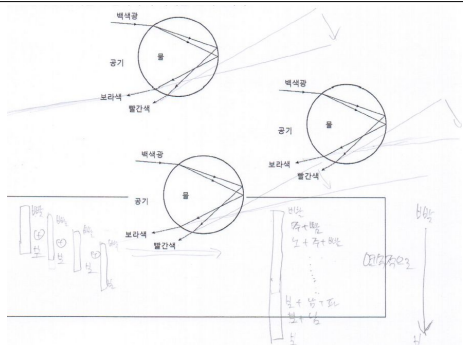
[표 4-8] N₁S₂ 유형의 응답

문항	답	설명
Q1		
Q2		

3) 현상을 이해하지 못하는(S_1N_2) 유형 - 2명

Q1 문항의 응답은 과학적이나 Q2 문항의 응답은 과학적이지 않은 예비교사의 응답 결과는 표 4-9와 같다. Q1 문항의 답변은 현상에 대한 과학적인 이해를 하는(S_1S_2) 유형과 같았다. 그러나 Q2 문항의 답을 보면 위쪽은 빨간색, 아래쪽은 보라색이며 가운데는 빛이 서로 중첩되어 백색으로 보인다고 답하였다. 이 유형의 예비교사는 눈에 대한 이해가 부족하여 수정체에 빨간색, 주황색, 노란색, 초록색, 파란색, 보라색이 도달하면 입사하는 각도와 상관없이 백색으로 보인다는 오류를 범하고 있다.

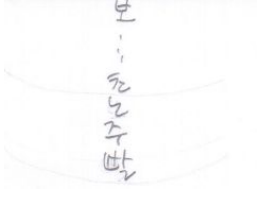
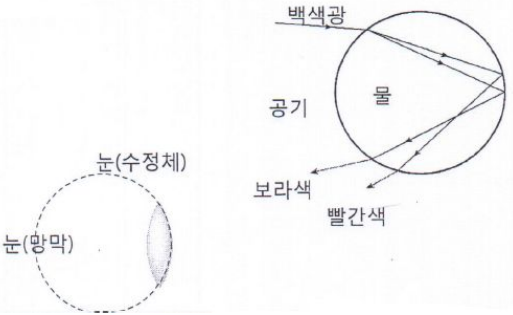
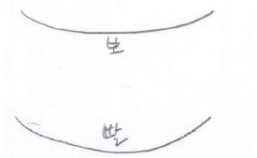
[표 4-9] S_1N_2 유형의 응답

문항	답	설명
Q1		
Q2		

4) 현상을 이해하지 못하는(N_1N_2) 유형 - 1명

이 유형은 Q1 문항의 응답과 Q2 문항의 응답 모두 비과학적인 예비교사로 그 예비교사의 응답 결과는 표 4-10과 같다. Q1 문항에서 광선 추적 없이 위쪽이 보라색 아래쪽이 빨간색이라 답을 하였으며, Q2 문항의 설명도 과학적이지 않다.

[표 4-10] N_1N_2 유형의 응답

문항	답	설명
Q1		
Q2		보라색의 빛들은 위에서 떠를 이루고 빨간색 빛은 아래서 떠를 이루어 무지개를 형성한 것 같다. 물방울이 구의 형이므로 떠도 곡선 형태를 이루는 것 같다.

4.1.4 달무리에서 관찰되는 빛의 분산

연구 참여자들의 Q1 문항과 Q2 문항에 대한 응답 유형은 표 4-11와 같다. Q1 문항의 정답률은 15 %이며, Q2 문항의 정답률은 31 %이다.

[표 4-11] 달무리의 응답 유형

문제	응답 유형		인원(명)	응답률	참여자
Q1	과학적인 이해(S ₁)	E _S R _S	2	15 %	2, 11
	비과학적인 이해(N ₁)	E _S R _N	8	62 %	1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 12
		E _N R _S	1	8 %	5
		E _N R _N	2	15 %	4, 13
Q2	과학적인 이해(S ₂)	E _S R _S	4	31 %	1, 2, 3, 6
	비과학적인 이해(N ₂)	E _S R _N	7	54 %	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
		E _N R _S	0	0 %	
		E _N R _N	2	15 %	4, 5

연구 참여자들의 달무리에서 관찰되는 분광의 이해수준은 표 4-12와 같다. 달무리는 무지개에 비해 피상적으로 이해하고 있는 예비교사의 수가 훨씬 적다는 점이 특징이다. 무지개와 마찬가지로 달무리의 원리를 심층적으로 이해하고 설명한 예비교사가 1명밖에 없다는 점에서 예비교사들은 달무리의 원리를 설명하는데도 큰 어려움이 있음을 알 수 있다.

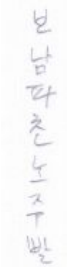
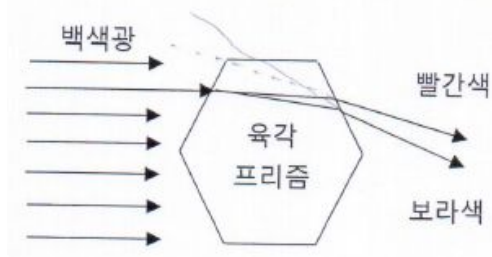
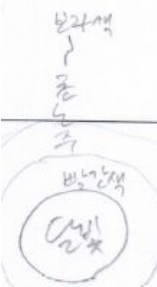
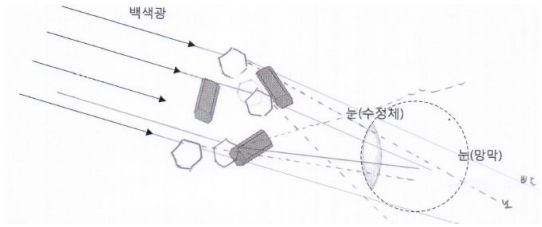
[표 4-12] 달무리에서 관찰되는 분광의 이해수준

이해 수준	응답 유형	인원(명)	응답률	참여자
심층적 이해	S ₁ S ₂	1	8 %	2
피상적 이해	N ₁ S ₂	3	23 %	1, 3, 6
이해하지 못함	S ₁ N ₂	1	8 %	11
	N ₁ N ₂	8	62 %	4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13

1) 현상에 대한 심층적 이해(S_1S_2) 유형- 1명

달무리에서 관찰되는 분광을 심층적으로 이해하고 있는 예비교사로 응답 결과는 표 4-13과 같다. 이 유형에 속하는 예비 교사는 상과 눈에 대하여 과학적인 개념을 가지고 있다고 볼 수 있다.

[표 4-13] S_1S_2 유형의 응답

문항	답(R)	설명(E)
Q1		
Q2		

2) 현상에 대한 피상적 이해(N₁S₂) 유형 - 3명

달무리에서 관찰되는 분광을 피상적으로 이해하고 있는 예비교사 유형으로 그 예비교사의 응답 결과는 표 4-14와 같다. 이 유형의 예비교사는 현상에 대한 심층적 이해(S1S2) 유형의 예비교사들이 상을 찾기 위해 광선을 추적한 것과 달리 수정체 앞에 도달하는 빛을 광선 추적을 통해 알아내려고 하였다. 이 유형은 상에 대해 과학적인 개념을 가지고 있지 않다고 할 수 있으며, Q1 문항에서는 과학적이지 않은 이해를 하는 예비교사들이 Q2 문항에서는 과학적인 이해를 한다는 것은 무지개의 경우와 마찬가지로 흥미로운 결과이다.


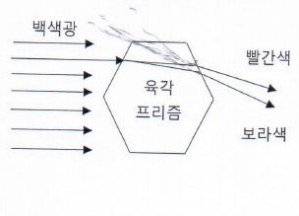
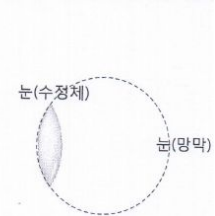

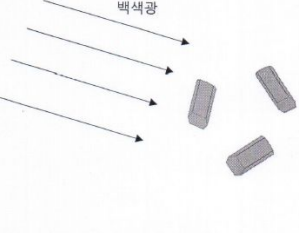
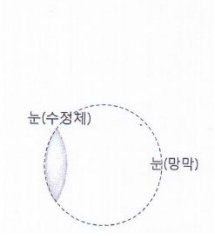
[표 4-14] N₁S₂ 유형의 응답

문항	답	설명
Q1		
Q2		<p>각도에 따라서 색이 눈으로 들어와는데, 위부분의 각도들은 보라색 광선을 우리 눈에 보내고 빨간색 광선은 눈 뒤로 지나치게 된다. 아래 각도들은 빨간색을 눈 아래쪽에 맞히게 하고 눈 아래로 보라색 광선을 지나치게 한다</p>

3) 현상을 이해하지 못하는(S₁N₂) - 1명

1번 문항의 응답은 과학적이나, 2번 문항의 응답은 과학적이지 않은 예비교사의 응답 결과는 표 4-15와 같다. Q1 문항의 답변은 현상에 대한 과학적인 이해를 하는(S₁S₂) 유형의 응답 결과와 같았다. 그러나 Q2 문항의 응답 결과를 살펴보면 위쪽은 빨간색, 아래쪽은 보라색이며 가운데는 빛이 서로 중첩되어 백색으로 보인다고 답 하였다. 이 유형의 예비교사는 무지개의 경우와 마찬가지로 눈에 대한 이해가 부족하다고 할 수 있다.

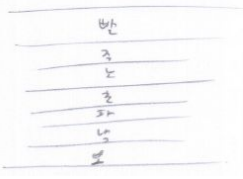
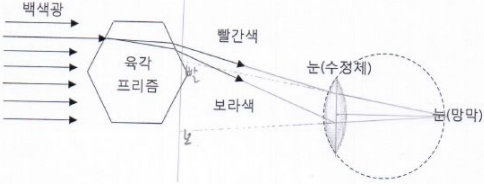
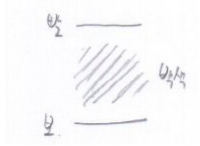
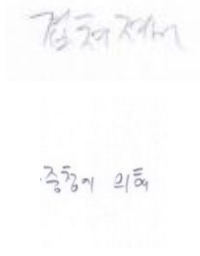
[표 4-15] S₁N₂ 유형의 응답

문항	답	설명
Q1		 
Q2		 

4) 현상을 이해하지 못하는(N_1N_2) 유형 - 8명

이 유형은 Q1 문항의 응답과 Q2 문항의 응답 모두 비과학적인 예비교사로 응답 결과는 표 4-16과 같다. Q1 문항은 광선 추적 없이 위쪽이 보라색 아래쪽이 빨간색이라 답을 하였으며, Q2 문항은 설명과 답변 모두 과학적이지 않다.

[표 4-16] N_1N_2 유형의 응답

문항	답	설명
Q1		
Q2		

4.1.5 코로나에서 관찰되는 빛의 분산

예비 교사들의 Q1 문항과 Q2 문항에 대한 응답 유형은 표 4-17과 같다. Q1 문항의 정답률은 92 %이고 Q2 문항의 정답률은 15 %이다. 예비 교사들은 원형 구멍에 의한 회절 문제인 Q1 문항을 대부분 잘 이해하고 있는 것으로 나타난 반면 입자가 많은 Q2 문항은 어려워하는 것으로 나타났다.

[표 4-17] 코로나의 응답 유형

문제	응답 유형		인원(명)	응답률	참여자
Q1	과학적인 이해(S ₁)	E _S R _S	12	92 %	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
		E _S R _N	0	0 %	
	비과학적인 이해(N ₁)	E _N R _S	0	0 %	
		E _N R _N	1	8%	4
Q2	과학적인 이해(S ₂)	E _S R _S	2	15 %	2, 6
		E _S R _N	9	69 %	3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
	비과학적인 이해(N ₂)	E _N R _S	0	0 %	
		E _N R _N	2	15 %	1, 4

연구 참여자들의 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대한 이해수준은 표 4-18과 같다.


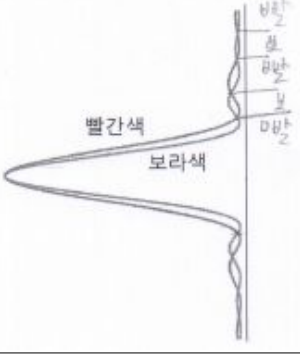
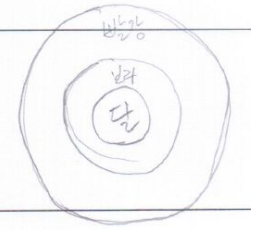
[표 4-18] 코로나에서 관찰되는 분광의 이해수준

이해 수준	응답 유형	인원(명)	응답률	참여자
심층적 이해	S ₁ S ₂	2	15%	2, 6
피상적 이해	N ₁ S ₂	0	0 %	
이해하지 못함	S ₁ N ₂	10	77%	3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
	N ₁ N ₂	1	8%	4

1) 현상에 대한 심층적 이해(S_1S_2) 유형- 2명

달무리에서 관찰되는 분광을 심층적으로 이해하고 있는 예비교사 유형으로 설문의 응답 내용은 표 4-19과 같다.

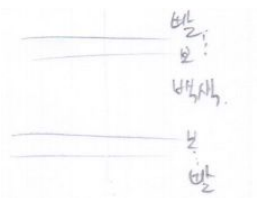
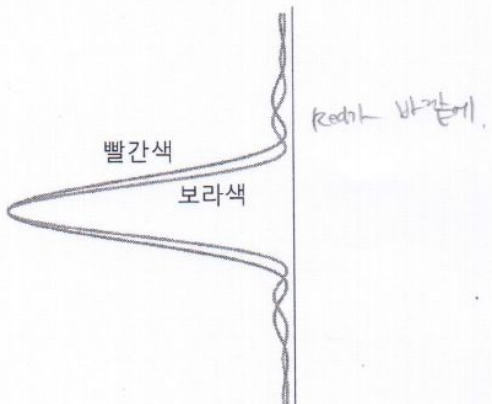
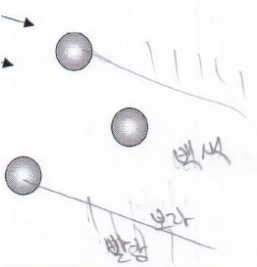
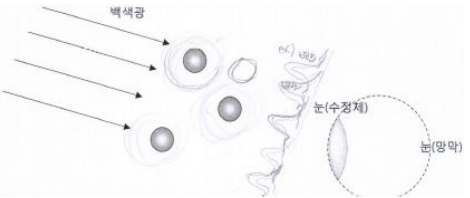
[표 4-19] S_1S_2 유형의 응답

문항	답(R)	설명(E)
Q1		
Q2		가늘고의 보라색과 두꺼운 보라색이 겹쳐져 안쪽은 보라색, 바깥쪽은 빨간색으로 보일 것이다

2) 현상을 이해하지 못하는(S_1N_2) 유형 - 10명

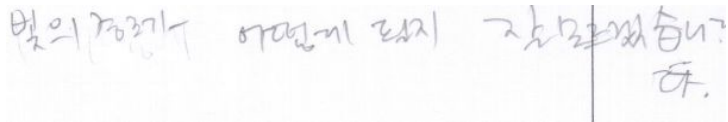
달무리에서 관찰되는 분광을 이해하지 못하는 유형으로 응답 결과는 표 4-20과 같다. 이 유형은 눈의 특성을 잘 고려하지 못한다.

[표 4-20] S_1N_2 유형의 응답

문항	답	설명
Q1		
Q2		

- 3) 현상을 이해하지 못하는(N_1N_2) 유형 - 1명
한 명의 학생은 답변을 포기하였다.

[표 4-21] N_1N_2 유형의 응답

문항	설명
Q1, Q2	

4.2. 낮은 이해수준의 원인

4.2.1 상에 관한 개념 부족

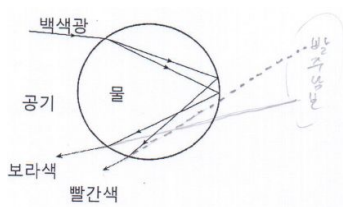
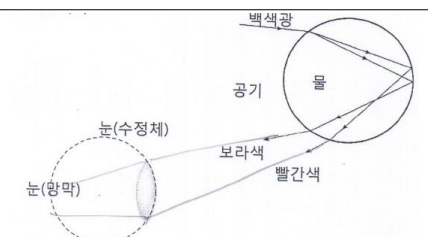
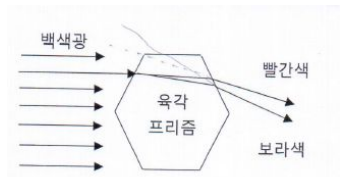
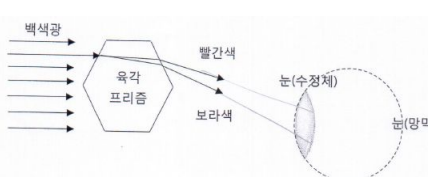
Q1 문항을 과학적으로 이해하고 있는 예비교사의 수는 표 4-22와 같다. 파동 광학으로 설명 가능한 원형 구멍의 회절에 의한 분광 현상을 설명할 수 있는 예비교사는 92 %이고, 기하 광학으로 설명 가능한 하나의 물방울 또는 육각 빙정에서 관찰되는 분산을 설명할 수 있는 예비교사는 약 20 %이다.

[표 4-22] Q1 문항에 대한 과학적 이해의 비율

원리	현상	인원(명)	비율
분산	무지개	3	23 %
	달무리	2	15 %
회절	코로나	12	92 %

표 4-23을 보면 과학적인 이해를 하지 못하는 예비 교사들은 상의 위치를 찾기 위한 목적으로 광선 추적을 하지 않았다. 이는 상이 생기는 근본원리를 과학적으로 이해를 한 예비 교사들의 광선 추적과 대비된다. 이들은 눈의 수정체에 빨간색 광선이 도달하면 빨간색을 볼 수 있고, 푸른색 광선이 도달하면 푸른색을 볼 수 있다고 생각한다.

[표 4-23] Q1 문항에 대한 답변

현상	과학적인 이해를 한 예비교사의 답변	과학적인 이해를 하지 못한 예비교사의 답변
무지개		
달무리		

4.2.2. 눈에 대한 이해 부족

Q1 문항을 과학적으로 이해하고 있는 예비교사 중에 Q1 문항을 과학적으로 이해하는 예비교사의 수는 표 4-24와 같다. Q2 문항은 Q1 문항과 비교하여 제시된 문제 상황에서 물방울 또는 빙정의 개수가 많아졌기 때문에 큰 어려움을 느꼈을 것이다.

[표 4-24] Q1을 과학적으로 이해하는 예비 교사들 중
Q2를 과학적으로 이해하는 예비 교사의 수

원리	현상	인원(명)		비율
		Q1	Q2	
분산	무지개	3	1	33 %
	달무리	2	1	50 %
회절	코로나	12	2	14 %

Q1 문항을 과학적으로 이해한 예비교사들의 Q2 문항에 대한 답은 표 4-25와 같다. Q1 문항을 과학적으로 이해한 예비교사들 중 Q2 문항을 과학적으로 이해하지 못한 예비 교사는 눈에 빨간색, 주황색, 노란색, 초록색, 파란색, 남색, 보라색이 모두 도달하면 광선이 눈과 이루는 각도와 상관없이 여러 가지 색의 빛이 합성되어 백색으로 보일 것이라고 생각하였다. 이러한 생각은 눈에 대한 이해가 부족하여 눈의 수정체에 빨간색 광선이 도달하면 빨간색을 볼 수 있고, 푸른색 광선이 도달하면 푸른색을 볼 수 있다고 생각하기 때문이다.

[표 4-25] Q1 문항을 과학적으로 이해한 예비 교사의 Q2 문항에 대한
답변

현상	과학적인 이해를 한 예비교사의 답변	과학적인 이해를 하지 못한 예비교사의 답변
무지개	<p>백색광(흰색)은 더 위에서 오는 것 처럼 보이는 보라색(보라)은 더 아래에서 오는 것 처럼 보이는 때때로...</p>	
달무리		
코로나	<p>각각의 보라색과 빨간색이 주어져 안쪽은 보라색, 바깥쪽은 빨간색으로 보일 것이다</p>	

권경필(2006, 2011), Selley(1996) 등에 의하면 학생들이 갖는 광학 관련 오개념의 공통적인 원인으로 눈의 기능에 대한 이해 부족을 지적하고 있으며 그에 따른 교수-학습의 필요성이 제기되어 왔다. 그럼에도 불구하고 대부분의 학생들은 여전히 눈의 특성을 고려하지 못하고 있다.

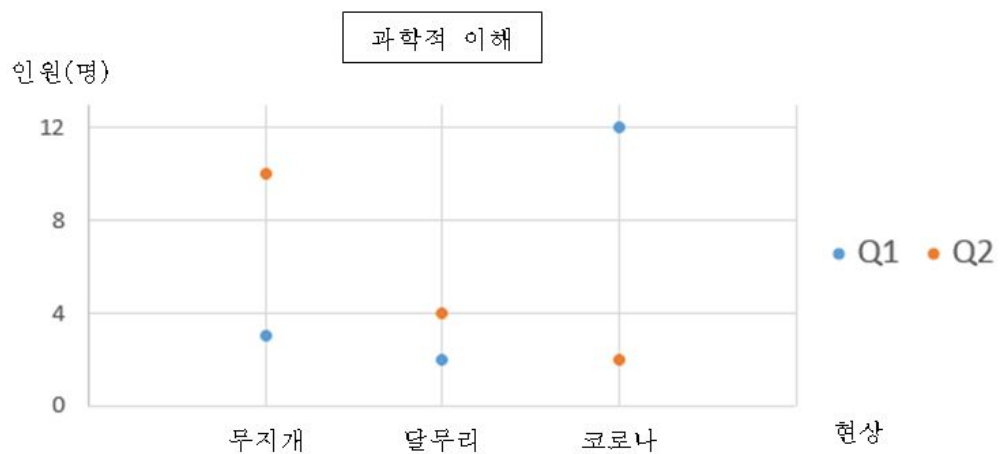
4.2.3. 교과서 설명 이해의 어려움

Q1 문항을 과학적으로 이해하는 예비교사와 Q2 문항을 과학적으로 이해하는 예비교사의 수는 표 4-26와 같다.

[표 4-26] Q1과 Q2를 과학적으로 이해하는 예비 교사의 수

원리	현상	Q1		Q2	
		인원(명)	비율(%)	인원(명)	비율(%)
분산	무지개	3	23	10	77
	달무리	2	15	4	31
회절	코로나	12	92	2	15

표 4-26을 그래프로 그리면 그림 4-3과 같다. Q1, Q2 문항을 과학적으로 이해하고 있는 예비 교사의 수는 무지개 현상의 경우 Q1 문항보다 Q2 문항이 7명이 더 많았으며, 달무리 현상의 경우는 Q1 문항보다 Q2 문항이 2명 더 많았고, 무지개 현상의 경우 Q2 문항보다 Q1 문항이 10명 더 많았다. 무지개, 달무리의 경우 Q1 문항에서 과학적이지 않은 이해를 하는 예비교사들보다 Q2 문항에서 과학적인 이해를 하는 예비 교사의 수가 더 많다.



[그림 4-3] 무지개, 달무리, 코로나 Q1, Q2 문항을 과학적으로 이해하고 있는 예비 교사의 수

무지개의 Q1 문항에 오답을 한 예비교사들이 Q2 문항은 과학적으로 이해할 수 있는 이유를 알아보기 위해 추가 인터뷰를 하였다. 그 내용은 표 4-27과 같다.

[표 4-27] 연구 참여자 8과의 인터뷰

연구자: 무지개의 Q2 문항은 어떻게 풀었니?

8번 참여자: 대학교 1학년 때 배운 할리데이 일반 물리학 책에 그대로 있어요.

연구자: 그래? 그러면 질문하나 할게. 너가 그린 그림에 의하면 물방울 3개 중에 제일 위의 물방울에서 빨간색 광선이 눈에 들어오고 제일 밑의 그림에서 보라색 광선이 눈에 들어오는데 그렇다면 중간색인 노란색과 초록색 등은 어떻게 사람 눈으로 볼 수 있을까?

8번 참여자: 그러지지 않았지만 무수히 많은 물방울이 있기 때문에 그러지지 않은 적당히 다른 물방울에 의해 노란색과 초록색의 빛이 사람 눈에 도달하게 되요.

연구자: 그렇다면 눈의 위치가 달라진다면 어떻게 되니?

8번 참여자: 음..... (꽤 오랜 시간 고민 후) 잘 모르겠어요. 눈의 위치를 아주 많이 내리면 주황색, 노란색, 초록색, 파란색, 보라색만 보여야 할 것 같기도 하고, 다른 물방울에 의해서도 빛이 도달하고 있을테니 빨간색, 주황색, 노란색, 초록색, 파란색, 보라색 빛이 보일 것 같기도 해요. 음, 생각해 보면 한 지점에 모든 색의 빛이 도달하고 있을테니 무지개가 안 보여야 될 것 같기도 하구요.

답변의 일관성을 비교한 결과는 표 4-28과 같다. 1명의 예비교사는 S_1N_2 유형에서 N_1N_2 유형으로 바뀌었으며, 무려 6명의 예비교사(4, 8, 9, 10, 12, 13)는 N_1S_2 유형에서 N_1N_2 유형으로 바뀌었다. 무지개에서 관찰되는 분광을 피상적으로 이해하고 있던 9명의 예비교사 중에 무려 6명의 답변이 바뀐 것이다.

[표 4-28] 무지개와 달무리 답변의 일관성 분석틀

무지개 달무리		유형			
		S_1S_2	S_1N_2	N_1S_2	N_1N_2
유 형	S_1S_2	2			
	S_1N_2		11		
	N_1S_2			1, 3, 6	
	N_1N_2		<u>7¹⁾</u>	<u>4, 8, 9, 10, 12, 13²⁾</u>	5

※ ¹⁾은 무지개 S_1N_2 유형에서 달무리 N_1N_2 유형으로 바뀜($S_1 \rightarrow N_1$)

²⁾는 무지개 N_1S_2 유형에서 달무리 N_1N_2 유형으로 바뀜($S_2 \rightarrow N_2$)

무지개와 달무리 모두 N₁S₂유형인 연구 참여자의 2번 문항에 대한 응답은 표 4-29과 같다.

[표 4-29] 연구참여자 3의 응답

[illegible]

무지개 N_1S_2 유형에서 달무리 N_1N_2 유형으로 바뀐 연구 참여자의 2번 문항에 대한 응답은 표 4-30과 같다.

[표 4-30] 연구참여자 8의 응답

무지개 Q2

달무리 Q2

이들이 이러한 답변을 한 이유는 달무리에 관한 질문은 자신이 잘 모르는 상황이므로 무지개의 문제와는 전혀 다르게 접근하였기 때문으로 생

각된다. 그 들의 답변으로 볼 때, 달무리가 어떻게 보이지를 Q1 문제로 부터 유추하였다. 즉, 한 육각 빙정 하나의 결과로부터 여러 개의 육각 빙정의 결과를 유추한 것이다. 무지개를 피상적으로 이해하는 예비교사 들 9명 중에 6명이 자신이 잘 알지 못하는 달무리 현상에 적용시키는 것 을 어려워 한다는 것을 알 수 있다.

무지개의 N_1S_2 유형에서 달무리의 N_1N_2 유형으로 바뀐 예비교사에게 추 가 인터뷰를 하였다. 인터뷰 내용은 표 4-31과 같다.

[표 4-31] 연구 참여자 13과의 인터뷰

<p>13번 참여자: 달무리 문제를 풀다 보니 무지개 문제를 잘못 풀 거 같아요.</p> <p>연구자: 왜 그렇게 생각하니?</p> <p>13번 참여자: 제가 생각해도 앞뒤가 맞지 않아서요. 1번 문제의 색이 2번 문제에서 갑자기 뒤집힌다는 것은 받아들이기 어려워요.</p>
--

무지개의 N_1S_2 유형의 학생들의 Q2 문항에 대한 응답은 대학교 1학년 때 일반물리학 시간에 배운 내용이다. 이들은 상에 대한 개념이 부족하 고, 눈의 특성에 대한 이해가 부족하여 무지개 설명에 대한 교과서 내용 을 이해하는데 어려움이 있다.

4.3. 결과

모든 예비교사들이 분광의 원리가 분산과 관련이 있다고 생각하였으나 분산 및 회절 모두와 관련이 있다고 답한 학생은 2명이었다. 이는 대부분의 예비교사들이 분광의 원리로 회절을 고려하지 못한다는 것을 나타낸다. 우리나라 대부분의 교과서에서 표 4-32와 같은 방법으로 분광(spectrum)을 설명하고 있다. 우리나라 교과서의 설명에 의해서는 빛의 분광의 원리가 분산 밖에 없다고 생각하게 되기 쉽다.

[표 4-32] 2009 개정 교육과정 신사고 교과서

햇빛과 같이 여러 가지 색의 빛이 합쳐진 빛을 백색광이라 하고, 백색광이 여러 가지 색으로 나누어지는 현상을 빛의 분산이라고 한다. 백색광이 프리즘을 통과할 때 여러 가지 색의 빛으로 나누어지는 것은 빛의 색에 따라 굴절되는 정도가 다르기 때문이다. 이때 빛이 분산되어 나타나는 여러 가지 색의 띠를 **스펙트럼**이라고 한다.

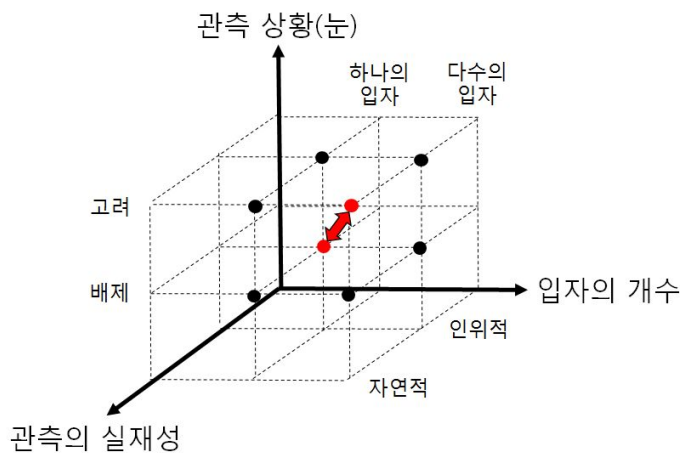
반면 싱가포르 교과서에서는 표 4-33과 같은 방법으로 분광을 설명하고 있다. 이러한 설명은 분산뿐만 아니라 회절도 분광의 원리라고 생각할 수 있게 한다.

[표 4-33] 싱가포르 New understanding physics For advanced level
교과서

백색광은 프리즘 또는 회절격자에 의해 여러 가지 색으로 나누어질 수 있다. 백색광이 나누어진 색의 스펙트럼은 빨간색부터 파란색까지이며 파장 길이는 대략 400nm에서 700nm사이다.

“White light can be split into colours, using either a prism or a diffraction grating. The spectrum of colours produced by splitting white light is from red to blue, covering a wavelength range from 700 to 400 nm approximately.”

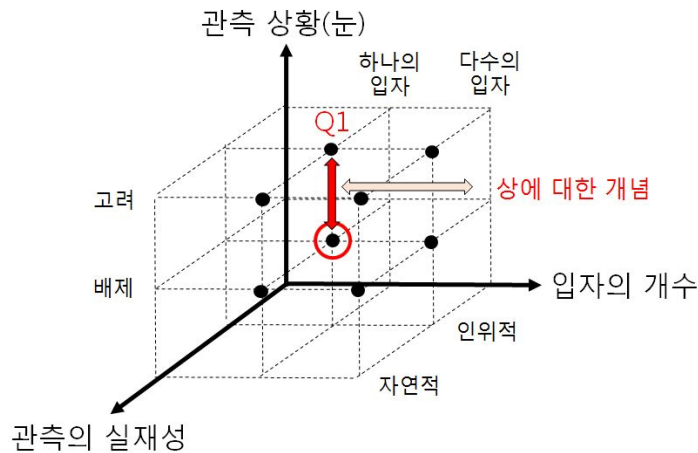
교과서에서 배운 원리는 관측 상황이 배제되어 있고 입자의 개수는 하나이며 인위적인 상황에서 다루고 있다. 그러나 분광과 관련한 자연 현상들은 관측 상황이 고려되어야 하며, 입자의 개수는 다수이며 자연적인 현상이다. 자연 현상과 교과서에서 배운 원리는 그림 4-4처럼 표현할 수 있다.



[그림 4-4] 자연 현상과 원리의 관계

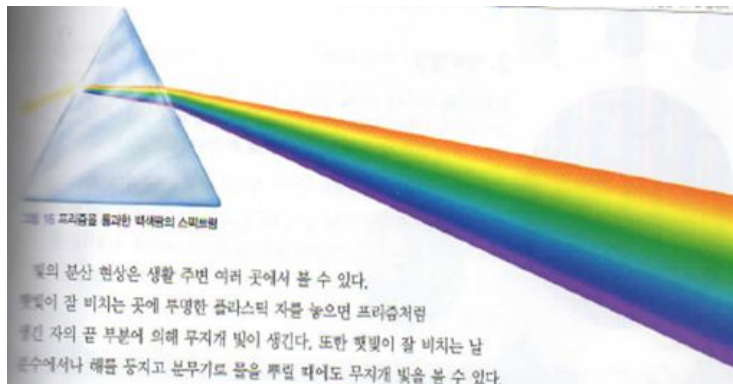
많은 예비교사들이 무지개, 달무리, 코로나에 대한 이해에 어려움을 느꼈다. 이러한 어려움은 상에 대한 개념 부족, 눈의 특성에 대한 이해 부족에서 기인함을 알 수 있었다. 또한 상에 대한 개념 부족과 눈의 특성에 대한 이해 부족으로 인하여 교과서를 이해하는데도 어려움이 있어서 예비교사들의 답변이 상황에 의존적임을 알 수 있었다.

그림 4-5에서처럼 관측상황(눈)을 고려한 Q1 문항을 통하여 예비교사의 상에 대한 개념이 부족함을 알 수 있다.



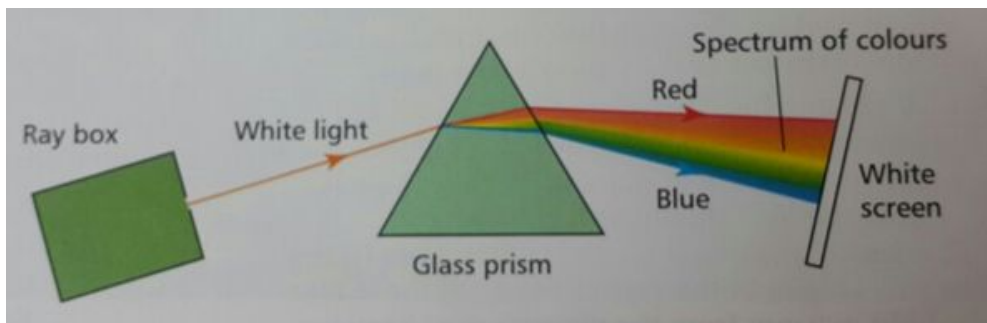
[그림 4-5] 상에 대한 개념과 분류틀

우리나라 대부분의 교과서에서 프리즘에 의한 분광의 결과를 그림 4-6과 같이 제시하고 있다. 이러한 그림은 관측 상황(눈)을 고려하지 않는다는 점에서 학생들이 과학적인 상 개념을 정립하는 것을 돕기에 부족하다고 할 수 있다.



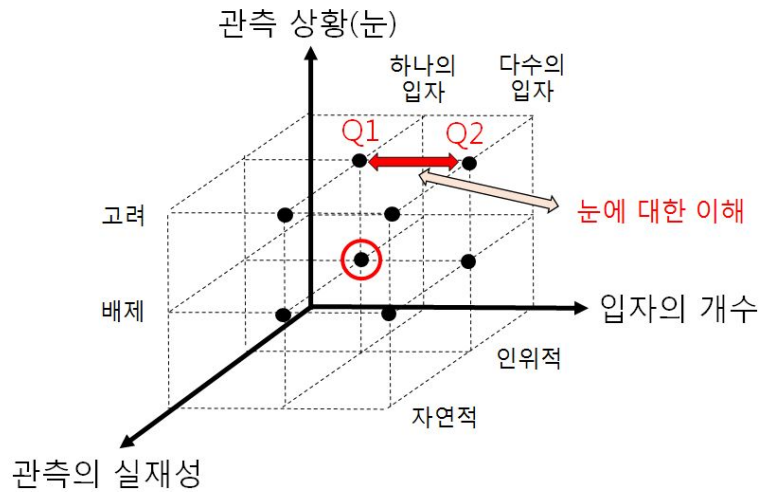
[그림 4-6] 금성 출판사의 프리즘에 의한 분산 그림

반면 싱가포르 교과서에서는 그림 4-7과 같은 방법으로 프리즘에 의한 분산을 설명하고 있다. 이러한 설명은 상에 대한 개념뿐만 아니라 광원에 대한 개념도 동시에 다루고 있다는 점에서 우리나라 교과서 보다 더 나은 설명이라고 할 수 있다.



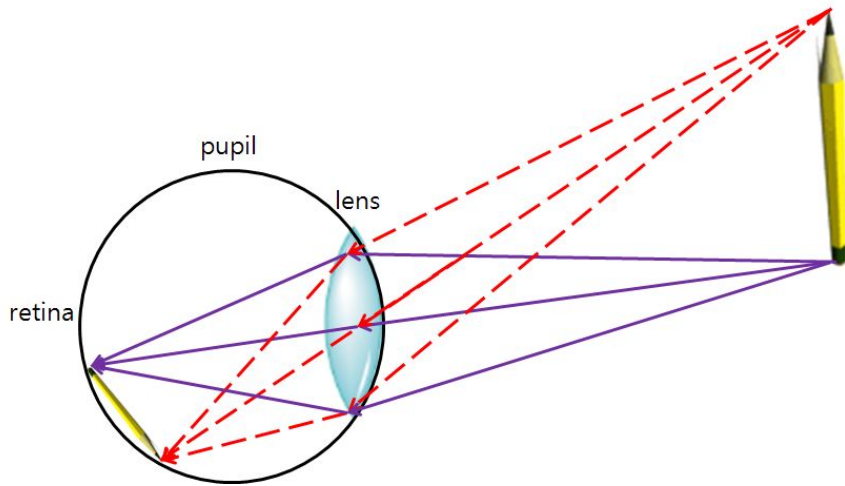
[그림 4-7] 싱가포르 New understanding physics For advanced level 교과서의 프리즘에 의한 분산 그림

한편, 눈의 특성에 대한 이해 부족으로 그림 4-8처럼 Q1 문항에서 Q2 문항을 추론하는 과정에 어려움이 있다.



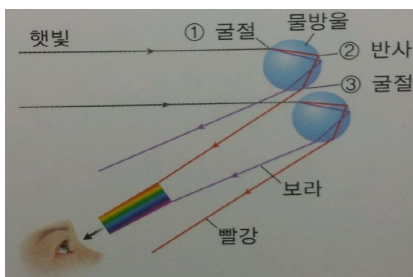
[그림 4-8] 눈에 대한 이해와 분류틀

눈의 역할을 제대로 알지 못한다는 점에서 수정체도 하나의 볼록 렌즈라는 것을 중·고등학생들이 알 수 있게 그림 4-9와 같은 그림이 교과서에 추가된다면 눈의 역할을 분명히 알 수 있을 것이다. 수정체에는 연필심 부분과 연필 지우개 부분의 모든 광선들이 도달한다. 그림에도 불구하고 우리는 연필심과 연필 지우개 부분을 분해하지 못하는 것이 아니라 그 빛이 망막에 맺혀서 연필심과 연필 지우개 부분을 분해해서 볼 수 있다. 이러한 점을 강조해서 교육한다면 그림 4-9와 같은 그림은 눈의 특성을 교육하는데 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

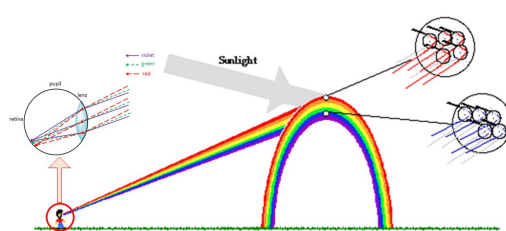


[그림 4-9] 눈의 특성

또한 대부분의 교과서에서 그림 4-10와 같은 방법으로 무지개를 설명한다. 이러한 설명은 과학적으로 옳은 설명이지만 예비교사들이 이해하는데 어려워 한다는 점에서 눈의 특성과 실제 모양이 잘 드러난 그림 4-11이 교육적으로 더 유용할 것이다.



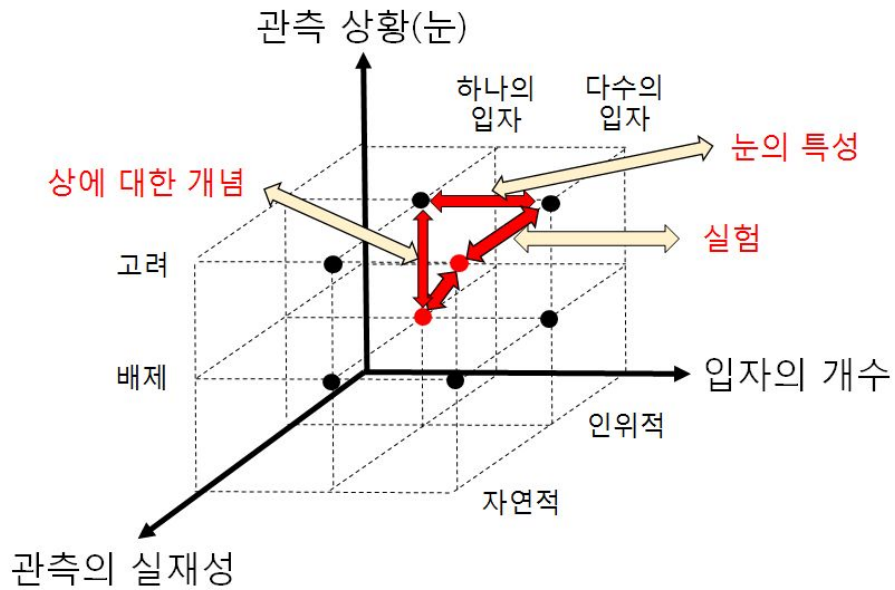
[그림 4-10] 대부분 교과서의 무지개 설명



[그림 4-11] 제안하는 무지개 설명 방법

예비교사들이 상에 대하여 과학적인 개념을 가지게 되면 관측 상황을 고려한 상황에서도 올바른 이해를 할 것이며, 눈의 특성을 이해하면 입자의 개수가 많아지는 상황에서도 올바른 이해를 할 것이다. 이러한 것

들이 모두 만족되고, 관측의 실재성 측면에서 인위적인 상황과 자연적인 현상을 연결시켜 줄 실험을 수행한다면 복잡한 자연 현상에 대해서도 올바른 이해를 할 수 있을 것이다. 이는 그림 4-12처럼 나타낼 수 있다.



[그림 4-12] 자연 현상 이해에 필요한 개념

V. 연구2 : 달무리, 코로나 실험 수업의 효과

5.1. 달무리, 코로나 관련 실험 개발

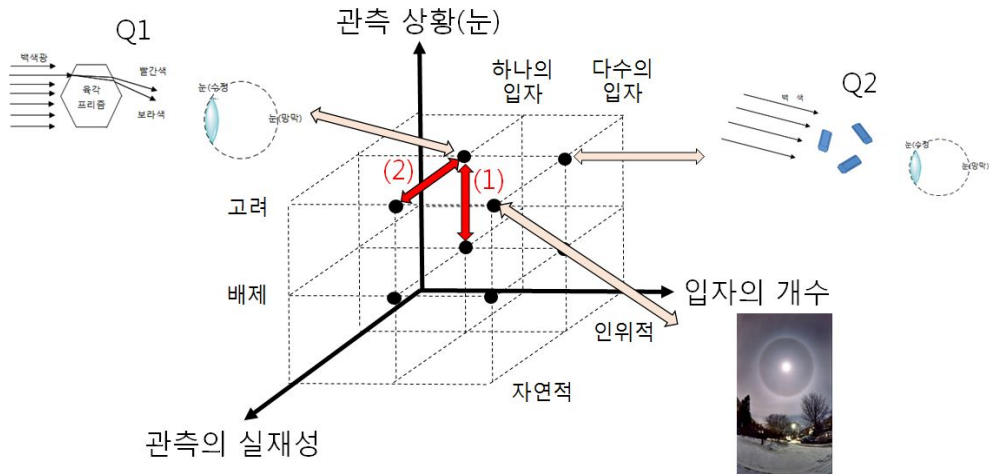
5.1.1. 실험 개발의 목적

연구1의 결과에 의하면 예비교사들은 자연현상에서 관찰되는 분광 현상인 무지개, 달무리, 코로나의 이해에 큰 어려움을 느낀다. 본 연구에서는 학생들이 무지개에 관련한 실험을 이미 경험한 적이 있었고, 학생들에게 많이 알려진 주제이므로 달무리, 코로나와 관련한 실험을 개발하였다.

육각 프리즘 실험은 본 검사지 Q1 문항인 하나의 입자이고 관측 상황을 고려할 때에 관한 질문의 결과를 관찰하는 것을 포함한 실험이다. 이 실험은 그림 5-1처럼 관측의 실재성 측면에서 매우 인위적이라고 할 수 있는 Q1 문항과 자연에서 관찰 가능한 자연 현상 사이의 가교 역할을 할 수 있다. 또한 눈과 스크린을 번갈아 관찰함으로써 관측 상황(눈)을 고려하여 관찰 상황을 고려한 Q1 문항과 관찰 상황을 배제한 이론적으로 배운 프리즘에 의한 분산 사이의 가교 역할도 할 수 있을 것으로 기대하였다.

달무리와 관련한 실험으로 육각프리즘 실험을 수행한 이유는 본 검사 Q1 문항에 과학적으로 이해하여 답한 예비교사가 2명밖에 없었으며, 많은 예비 교사들의 분산에 관한 상에 대한 개념이 부족하였기 때문이다. 이 실험은 예비 교사들의 상에 대한 개념 변화와 하나의 입자에서 관찰되는 결과를 예비 교사들이 알게 되었을 때 Q1 문항에 관한 예비교사들의 이해가 어떻게 변하는 지 살펴볼 수 있다.

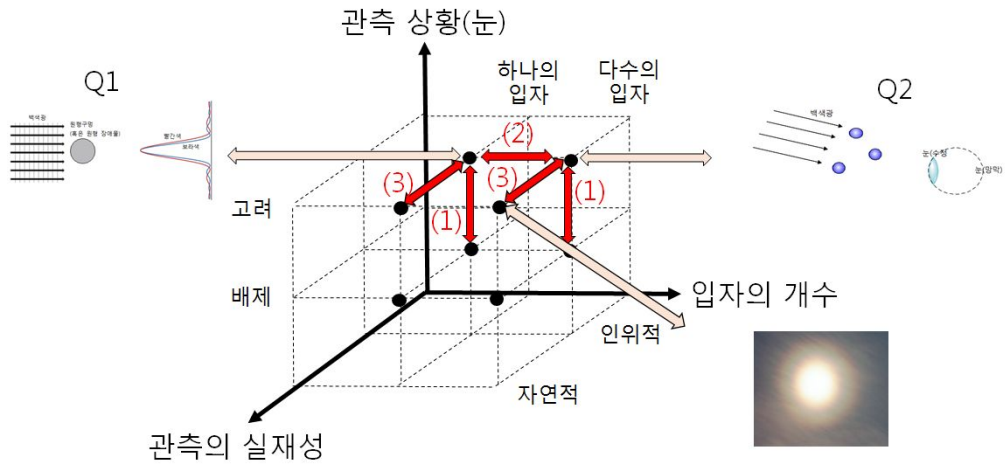
육각프리즘 실험



[그림 5-1] 달무리 관련 육각프리즘 실험

반면 코로나와 관련한 실험으로는 코로나 예시현상 실험을 개발하였다. 이 실험은 다수의 입자이며 관측 상황을 고려한 본검사지 Q2 문항에서 제시하는 물음에 대한 결과를 관찰한다. 그림 5-2처럼 관측의 실재성 측면에서 매우 인위적이라고 할 수 있는 질문과 자연에서 관찰 가능한 자연 현상 사이의 가교 역할을 할 수 있다. 또한 코로나 예시 현상 실험은 입자의 개수를 바꾸며 실험이 가능하기 때문에 하나의 입자와 다수의 입자 사이의 가교 역할도 할 것으로 기대하였다.

코로나 예시현상 실험

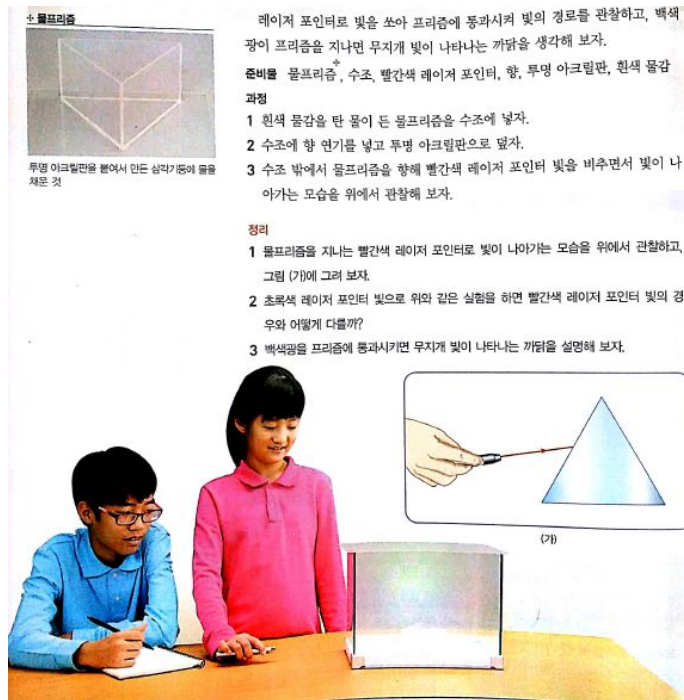


[그림 5-2] 코로나 예시현상 실험

코로나 관련 실험으로 코로나 예시현상 실험을 한 것은 코로나의 경우 본검사 Q1 문항을 과학적으로 이해한 예비교사는 12명인 것에 비해 본검사 Q2 문항을 과학적으로 이해한 예비교사는 2명에 불과하였기 때문이다. 이 실험은 코로나 예시현상을 통해 예비 교사들이 예비교사들에게 일어나는 코로나에 대한 개념 변화를 살펴볼 수 있다.

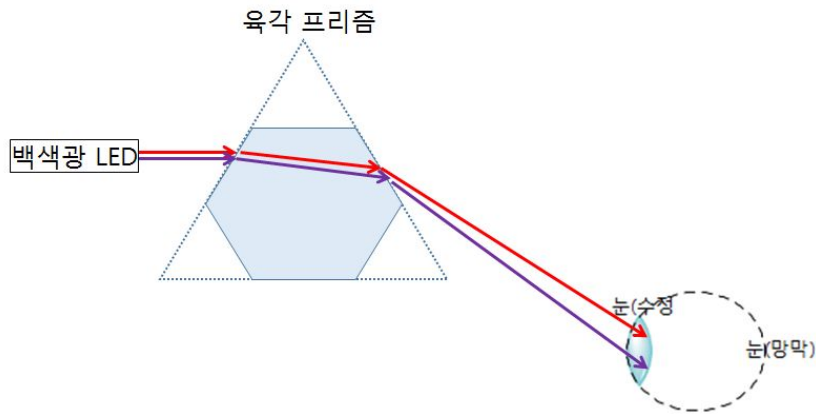
5.1.2. 실험의 설계

달무리와 관련한 실험은 육각 프리즘 실험으로 그림 5-3의 중학교 2학년 금성출판사 교과서 내용을 참고하여 개발하였다.



[그림 5-3] 중학교 2학년 금성출판사 교과서에 실린 물프리즘 실험

광원은 레이저에서 눈으로도 직접 관찰 할 수 있는 백색광 LED로 바꾸었다. 삼각기둥은 아크릴을 이용하여 자체 제작한 정육각기둥으로 교체 하고 정육각 기둥에 물을 부어 정육각 물프리즘을 만들었다. 이에 관한 모식도는 그림 5-4와 같다. 활동지는 달무리와 관련이 있도록 수정하였다.



[그림 5-4] 육각 프리즘 실험 모식도

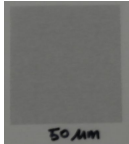
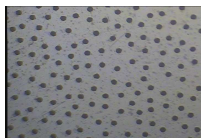

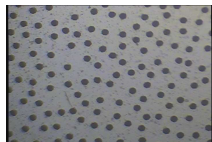
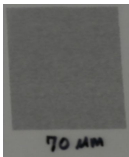
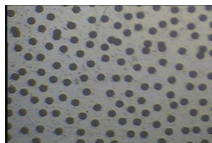
코로나 예시현상 실험은 허재혁(2012)의 논문을 참고하여 개발하였다. 이 실험은 코로나를 단순화한 실험으로 다음의 두 가지를 가정하였다. 첫째는 구름 속에 얇고 넓게 분포하는 3차원의 물방울을 2차원으로 정사영 시켜서 표현해도 같은 실험 결과를 얻을 수 있다는 것이며, 둘째는 물방울 직경의 크기가 균일하다는 것이다. 첫 번째 가정의 경우 태양과 지구 사이의 거리가 구름의 두께에 비해 너무 멀기 때문에 구름이 거의 평면에 펼쳐져 있다고 가정하는 것이 가능하다. 두 번째 가정은 물방울 직경의 크기가 균일하여야 좀 더 명확한 무늬가 나타나기 때문이며, 만일 물방울들이 다양한 크기 분포를 가지면 다양한 크기의 회절 무늬가 중첩되어 달무리는 사라지게 될 것이다.

이러한 두 가정에 의해 물방울을 직경의 크기가 같은 2차원의 점으로 모형화 하였다. 물론 점과 물방울은 동일하지 않지만, 원형 점이 장애물 역할을 한다는 점에서 원형 물방울과 동일한 역할을 할 것으로 예상하여 마스크를 제작하였다.

마스크는 구름 속의 물방울이 불규칙하게 존재한다는 것에 착안하여 Adobe illustrator를 이용해 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 의 영역에 점을 무작위로 찍었으며, 점의 지름의 크기($2R$)를 $50\text{ }\mu\text{m}$, $60\text{ }\mu\text{m}$, $70\text{ }\mu\text{m}$ 로 변화를 주

었다. 각각의 마스크는 인쇄용 프린트(3659 dpi)를 이용하여 Graphic Art Film에 인쇄하였고, 그것의 실제 크기를 현미경을 통해 측정하였는데, 그 결과는 표 5-1과 같다.

[표 5-1] 마스크 설명

마스크 번호	제작한 점의 지름	실제 사진	현미경으로 확대한 모습 (4배)	실제 지름
1	50 μm			51 \pm 1 μm
2	60 μm			61 \pm 1 μm
3	70 μm			71 \pm 1 μm

제작한 마스크는 카메라 렌즈 바로 앞에 위치시켜, 그림 5-5와 같은 형태로 배치하였다. 광원은 533.2 nm 파장의 다이오드 녹색레이저, 632.8 nm 파장의 He-Ne 레이저와 백색 LED를 이용하였다.



[그림 5-5] 실험 방법

카메라는 디지털카메라를 이용하였고, 렌즈는 초점거리가 55 mm인 것을 이용하였다. 카메라의 화소는 2030만 화소이며, 픽셀 하나의 크기는 약 $6.3\ \mu\text{m} \times 6.3\ \mu\text{m}$ 이다. 광원에서 마스크까지의 거리는 3.375 m로 하였고, 프라운호퍼 회절을 관찰하기 위해서 카메라 렌즈의 초점은 무한대에 맞추어 카메라 렌즈에 평행하게 들어오는 광선이 CCD에 결상되도록 하였다.

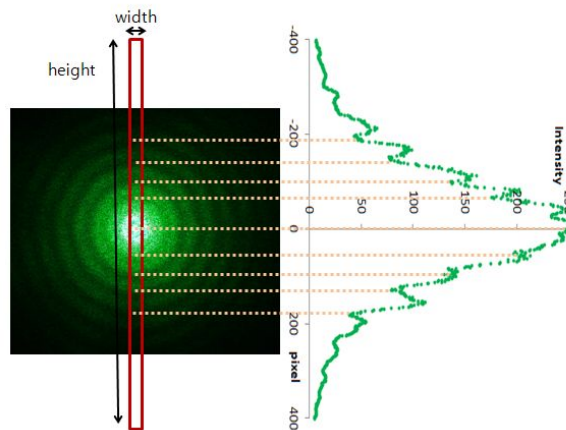
5.1.3. 데이터 분석 방법

- 육각 프리즘 실험

육각 프리즘 실험은 정성적인 실험이므로 데이터 분석 과정이 없다.

- 코로나 예시현상

먼저 그림 5-6과 같이 회절무늬의 동심원 중심을 기준으로 하여 3차 회절무늬까지 충분히 나올 수 있도록, width를 15 픽셀, height를 601 픽셀을 선택하여 분석하였다. 선택된 이미지를 0에서 255의 숫자로 환산하였고, 광원의 색과 같은 색의 데이터만을 추출하여 601×15 의 행렬로 나타내었다. 그리고 레이저의 스펙클에 의한 노이즈 효과를 줄이기 위해 각 행별로 평균을 내어 $601 \times 1(?)$ 의 벡터를 만들었고, 픽셀의 위치에 따른 회절무늬의 세기를 얻었다.



[그림 5-6] 분석 방법

실험값과 이론값의 비교는 다음과 같다. 카메라 센서에서 3.375 m 떨어진 거리에 있는 10 cm 기준 자를 촬영하면 센서의 238 픽셀에 해당함을 알 수 있었는데, 이는 3.375 m 떨어진 거리의 1 mm는 센서의 2.38 픽셀

에 해당함을 확인 한 것이다. 따라서 동심원의 중심으로부터 픽셀의 수가 n 개라면 그림 6에서의 회절 무늬의 패턴 Δx 는 다음과 같은 식을 만족한다.

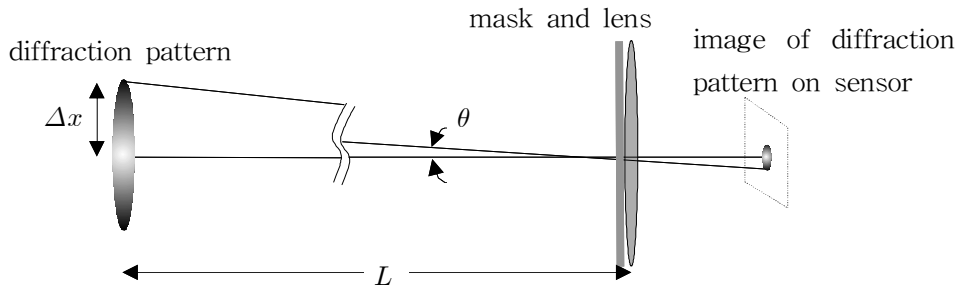
$$\Delta x = \frac{n}{2.38} \quad (1)$$

그림 5-7에서 θ 의 값이 매우 작으므로 $\sin\theta \approx \tan\theta = \frac{\Delta x}{L}$ 로 근사할 수 있고, 회절패턴 각지름의 실험값은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sin\theta \approx \frac{n}{2.38L} = \frac{n}{2.38 \times 3375} \quad (2)$$

한편 회절패턴 각지름의 이론값은 $x = \frac{2\pi R \sin\theta}{\lambda}$ 을 변형하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{2\pi R} \times x \quad (3)$$



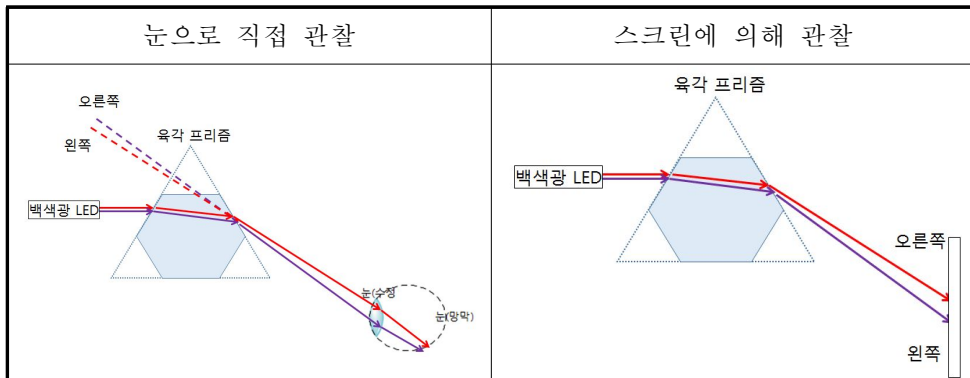
[그림 5-7] θ 와 Δx 정의

5.1.4. 실험 결과

- 육각 프리즘 실험

육각 프리즘 실험의 결과에 관한 설명은 표 5-2와 같다. 눈으로 직접 관찰한 것의 결과는 두 가지 방법으로 설명할 수 있는데 첫 번째 방법은 눈의 수정체를 볼록렌즈로 생각하여 광선 추적하는 방법이다. 이 방법은 oblique method를 사용하여 정확한 광선 추적을 하여야 하며, 뇌는 망막을 거꾸로 인식한다는 것을 알아야 한다. 두 번째 방법은 사람은 빛이 직진한다고 인식한다는 것이다. 이 두 방법을 이용하면 보라색이 오른쪽에 있고, 빨간색이 왼쪽에 있다고 인식한다. 육각 프리즘에 의한 분산을 스크린을 통해 관찰하면 빨간색은 오른쪽, 보라색은 왼쪽에 있다고 인식한다.

[표 5-2] 육각 프리즘 실험 결과 설명



- 코로나 예시현상

표 5-3는 3개의 광원과 크기가 50 μm , 60 μm , 70 μm 인 마스크가 만드는 회절무늬를 측정한 모습이다. 동심원 가운데 광원의 밝기가 매우 밝고 고차 회절무늬의 밝기는 급격하게 감소하기 때문에, 무엇보다 고차 회절무늬가 잘 나타나는 조건으로 회절무늬를 얻는 것이 중요하다. 이에

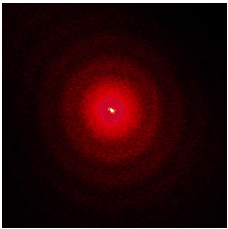
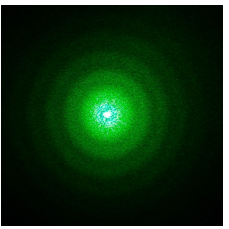

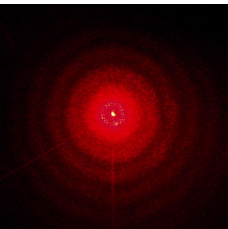
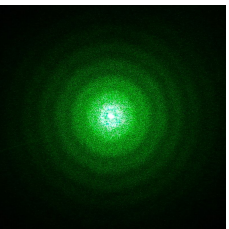

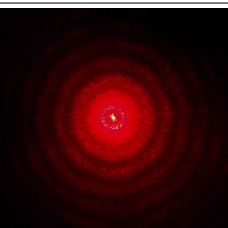
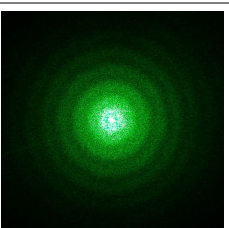

따라 2차와 3차 밝은 회절무늬가 잘 나타나도록 암실 조건 하에서 카메라를 f 5.6, 셔터 빠르기 $\frac{1}{4}$ 초, ISO 200으로 설정하여 회절무늬를 얻었다.

어두운 회절무늬의 간격을 정성적으로 분석하면, 녹색 레이저의 회절무늬 간격보다 적색 레이저의 회절무늬 간격이 더 크게 나타난다는 것을 통해, 파장이 길수록 회절무늬의 간격이 커진다는 것을 뚜렷하게 확인할 수 있다. 또한 백색광으로 실험한 결과에서는 각 차수의 밝은 회절무늬에 대해 원의 중심 쪽에는 푸른 색 계열의 빛이 위치하고 바깥쪽에는 붉은 색 계열의 빛이 위치하며, 이러한 경향이 회절무늬의 차수에 따라 동심원의 형태로 반복되어 나타나는 것을 쉽게 육안으로 확인할 수 있다. 이를 통해 백색광에서도 레이저를 광원으로 하였을 때와 같이 파장이 길어질수록 회절효과도 커진다는 것을 알 수 있다.

또한 마스크의 번호가 증가함에 따라 원형 장애물의 크기가 커지는데, 이에 따라 모든 광원에서 회절무늬의 간격이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 마스크의 원형 장애물의 크기가 커짐에 따라 회절효과가 줄어드는 현상을 뚜렷하게 확인할 수 있다.

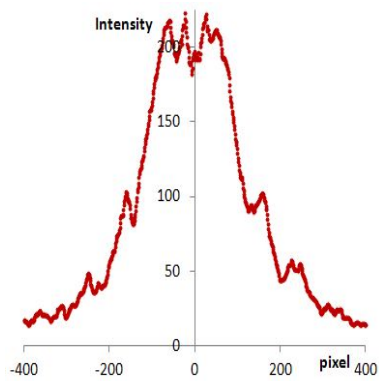
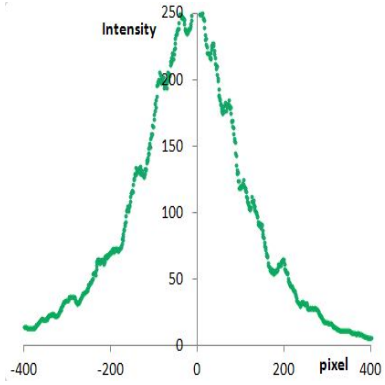
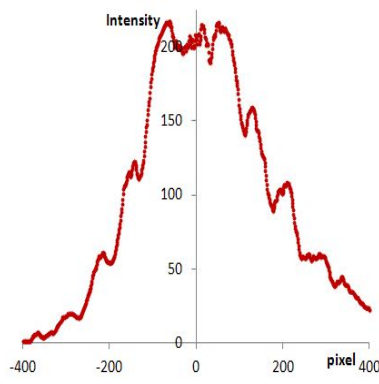
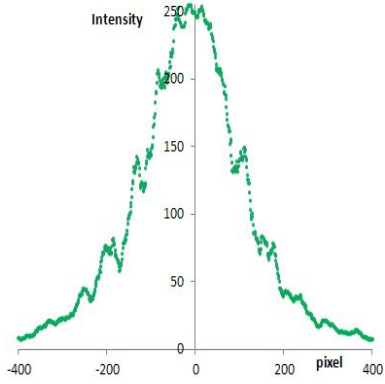
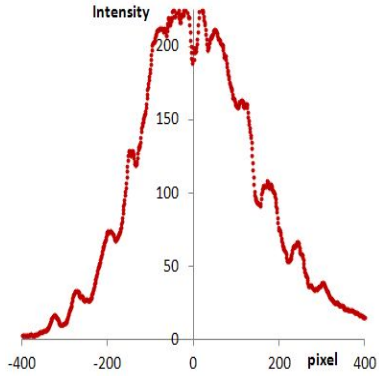
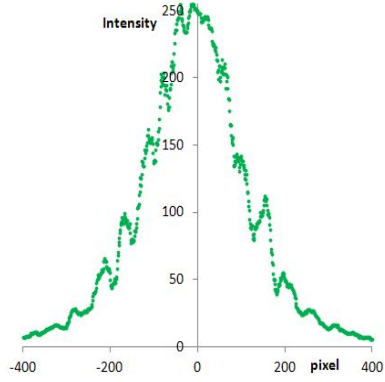
표 5-3에 제시된 결과 중 적색 레이저와 녹색 레이저의 결과를 정량적으로 분석하여 사진의 빨간색, 녹색, 파랑색의 값을 0~255값으로 추출하였고, 특히 632.8 nm 레이저에 의한 사진에서는 빨간색 값, 533.2 nm 레이저에 의한 사진에서는 녹색 값만을 추출하였다. 그 결과를 표 5-4에 나타내었다.

[표 5-3] 실험 결과

마스크 번호	붉은색 레이저(632.8 nm)	녹색 레이저(533.2 nm)	백색광
1 (50 μm)			
2 (60 μm)			
3 (70 μm)			

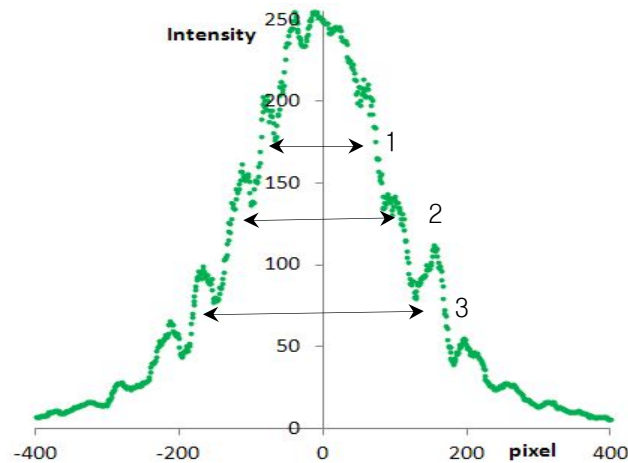
※ 광원과 점의 크기에 따른 회절 결과 비교

[표 5-4] 실험 결과 분석

슬릿 번호	적색 레이저(632.8 nm)	녹색 레이저(533.2 nm)
1		
2		
3		

※ 광원과 점의 크기에 따른 회절 결과 분석

측정 결과는 광원의 중앙이 매우 밝기 때문에 전체적으로 종모양의 밝기 분포를 보였으며, 원형 구멍에 의한 회절의 이론적 형태인 베셀함수 형태처럼 회절무늬의 어두운 부분이 0의 값을 갖지는 않았다. 하지만 회절무늬의 밝고 어두운 지점의 위치와 회절무늬의 차수는 뚜렷하게 구분할 수 있었다. 광원에 의한 중심 밝은 무늬로부터 정확한 중심 위치를 찾기가 어려우므로 이론값과의 비교 상의 편의를 위해 회절무늬의 어두운 지점의 위치를 측정하였고, 그림 5-8과 같이 극소점 사이의 픽셀 개수를 이용하여 회절 무늬의 각지름을 계산하였다.



[그림 5-8] 첫 번째, 두 번째, 세 번째 어두운 회절 무늬

위의 표 5-4의 결과를 살펴보면 3차 어두운 회절무늬까지 명확하게 확인할 수 있다. 따라서 표 5-5와 같이 1차, 2차, 3차 어두운 회절무늬의 측정값과 이론값을 비교하고 오차율을 표현하였다.

[표 5-5] 회절 무늬의 크기

마스크 번호	레이저	회절 무늬	$\sin\theta$ 실험 결과	이론 $\sin\theta$	오차율
1	적색	1	1.7×10^{-2}	1.5×10^{-2}	11%*
		2	2.7×10^{-2}	2.8×10^{-2}	2.3%
		3	3.9×10^{-2}	4.0×10^{-2}	1.7%
	녹색	1	1.3×10^{-2}	1.3×10^{-2}	2.0%*
		2	2.2×10^{-2}	2.3×10^{-2}	3.7%
		3	3.3×10^{-2}	3.4×10^{-2}	2.2%
2	적색	1	1.5×10^{-2}	1.3×10^{-2}	20%*
		2	2.3×10^{-2}	2.3×10^{-2}	0.27%
		3	3.3×10^{-2}	3.4×10^{-2}	0.56%
	녹색	1	1.3×10^{-2}	1.1×10^{-2}	18%*
		2	2.0×10^{-2}	2.0×10^{-2}	0.64%
		3	2.9×10^{-2}	2.8×10^{-2}	0.88%
3	적색	1	1.5×10^{-2}	1.1×10^{-2}	36%*
		2	2.1×10^{-2}	2.0×10^{-2}	5.6%
		3	2.9×10^{-2}	2.9×10^{-2}	0.22%
	녹색	1	1.1×10^{-2}	0.9×10^{-2}	22%*
		2	1.7×10^{-2}	1.7×10^{-2}	2.2%
		3	2.4×10^{-2}	2.4×10^{-2}	3.3%

※ 첫 번째 어두운 회절 무늬는 큰 오차율을 보인다. 이는 빛의 세기에 영향을 받은 것으로 해석할 수 있다.

1차 어두운 회절무늬의 각지름은 모든 광원과 마스크의 경우에 대해 큰 오차율을 보임을 알 수 있다. 이는 1차 어두운 회절무늬는 중앙에서 가까운 위치에 있으므로 상대적으로 광원의 영향을 많이 받은 것으로 해석할 수 있다. 특히 고차 회절 무늬를 얻기 위해서는 밝은 광원이 필요하며 밝은 광원일수록 회절무늬의 중심이 더 밝으므로, 1차 어두운 회절무늬는 중심에 위치한 광원의 영향을 받을 수밖에 없다. 표 4를 보면, 2차 및 3차 어두운 회절무늬의 각지름은 약 5 % 미만의 오차율로 일치하고 있음을 확인할 수 있으므로, 이 실험의 경우 이론값과의 비교를 위해서

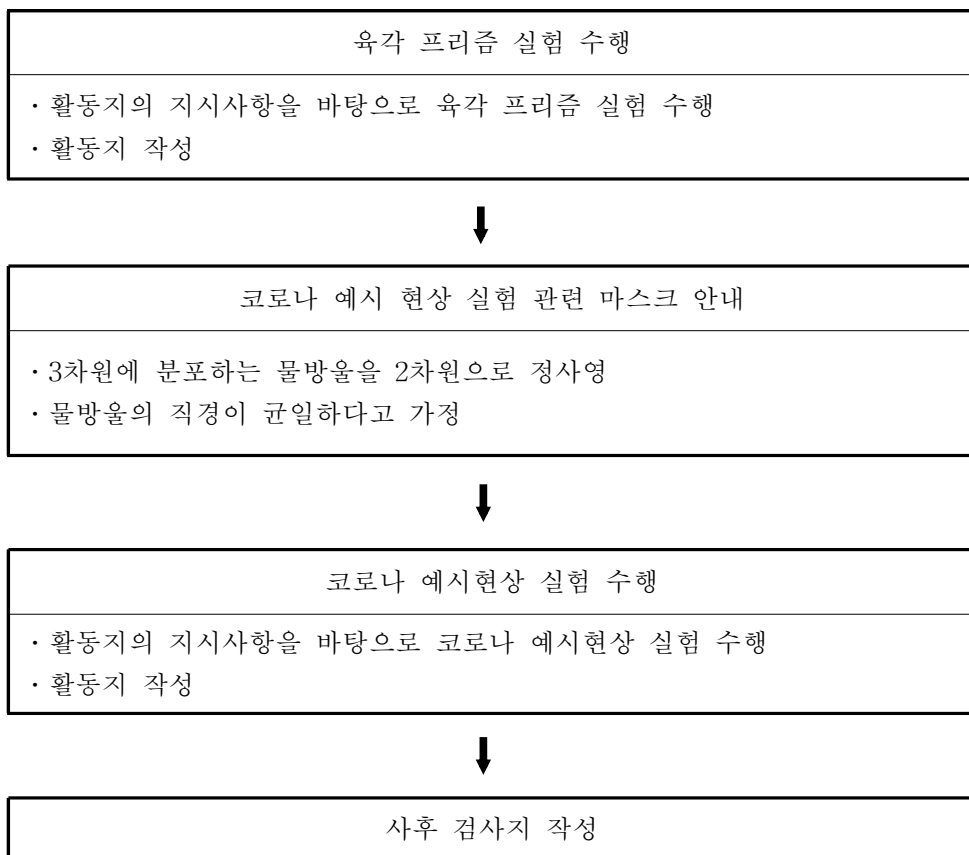
는 2차 이상의 회절 무늬를 비교하는 것이 적절할 것이다. 실험 결과로부터 필름(Graphic Art Film)에 원형 장애물을 무작위로 표현한 후, 인쇄하여 달에 의한 코로나를 모형화하여 실험한 결과가 원형 구멍에 의한 회절무늬와 정확히 일치하고 있다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

5.2. 실험 수업 방법 및 효과

5.2.1. 실험 수업 방법

실험 수업은 표 5-6과 같은 순서대로 실시하였다. 실험 수업은 사후 검사지 작성 시간을 포함하여 약 1시간 소요 되었다. 육각 프리즘 실험은 학생들에게 익숙한 실험이고 코로나 예시현상 실험은 학생들에게 생소한 실험이므로 육각 프리즘 실험을 먼저 실시한 후, 잠시 쉬었다가 코로나 예시현상 실험을 수행하게 하였다. 각각의 실험은 활동지 작성을 병행하면서 수행하게 하였다.

[표 5-6] 실험 수업 수행 순서



달무리와 관련한 실험인 육각프리즘 실험은 별다른 설명 없이 활동지에 적힌 설명대로 수행하게 하였다. 활동지에 의하면 예비 교사들은 백색광으로 스크린과 눈을 이용하여 실상과 허상을 관찰하는 실험을 수행하게 된다.

예비교사들이 육각 프리즘 실험을 수행한 후에는 코로나 예시현상 실험의 마스크는 두 가지 가정을 가지고 있음을 안내하였다. 먼저 공기 중에 떠 있는 물방울의 두께는 3차원으로 분포하지만 태양과 지구 사이의 거리에 비하면 무시할 수 있을 만큼 좁으므로 2차원으로 정사영하여도 무방할 것이라는 가정과 코로나 현상은 물방울의 직경이 균일할 때 관찰이 용이하므로 물방울의 직경이 모두 같다는 가정이다. 예비 교사들은 3가지 광원(붉은 색 LED, 녹색 LED, 촛불)과 3가지 크기(50 μm , 60 μm , 70 μm)와 3가지 종류(단일한 원형 구멍, 원형 점, 코로나 예시현상)의 마스크를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험은 마스크를 눈앞에 놓고 광원을 관찰하고 그 결과를 활동지에 적게 하였다. 코로나 예시현상 실험이 끝난 후에는 사후 검사지를 작성하게 하였다.

5.2.2. 육각 프리즘 실험 수업의 효과

관측 상황을 바꾸며 한 육각 프리즘 실험 수업은 실험 결과에 대해 대부분의 예비교사들이 신기하고 흥미롭다는 반응을 보였다. 이는 표 5-7의 13번 연구 참여자와의 면담 내용을 통해 살펴볼 수 있다.

[표 5-7] 연구 참여자 13과의 인터뷰

13번 참여자: 선생님 눈과 스크린에서 색깔이 뒤바뀌는 것은 너무 신기하고 재미있는 것 같아요.

연구자: 왜 그렇게 생각하니?

13번 참여자: 한 번도 생각하지 못한 일이거든요.

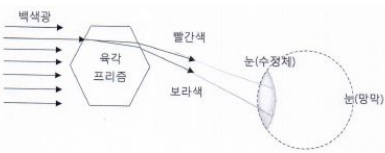
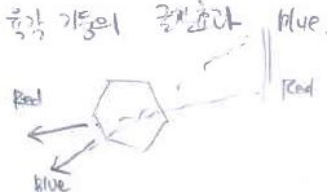
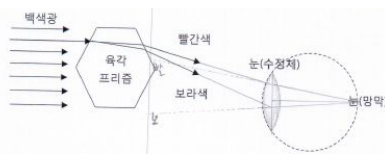
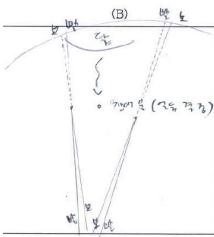
또한 표 5-8과 같이 13명의 예비교사 중 12명의 예비교사들이 과학적인 상의 개념을 갖고 있었다. 이는 육각 프리즘 실험 수업 전의 2명에 비해 비약적으로 증가한 것이다.

[표 5-8] 상에 대한 과학적인 개념

개념	실험 수행 전	실험 수행 후
	본 검사지	사후 검사지
상	2	12

표 5-9는 상에 대한 개념이 변한 3번과 6번 예비교사들의 답변을 예시로 제시하였다. 본 검사에서는 상에 대한 과학적 개념이 부족하여 육각 프리즘에 의한 빛의 분광 결과를 알아내지 못했으나 사후 검사 결과에서는 빛의 분광 결과에 대한 과학적인 설명을 하였다. 이러한 변화는 상에 대한 개념이 발달한 것으로 볼 수 있으며, 선행연구에서 언급한 노박(1984)의 개념도를 참고하면 상에 대한 개념이 확장된 형태로 발달했다고 볼 수 있다.

[표 5-9] 예비교사들의 상에 대한 개념 변화 예시

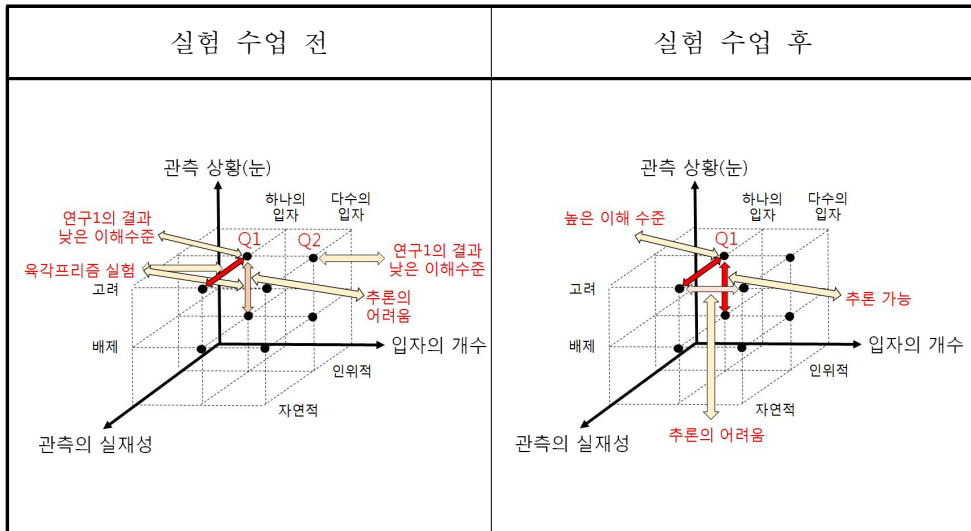
연구 참여자	본 검사지	사후 검사지
3		
6		

눈과 스크린으로 관측 상황을 바꾸어가면서 수행한 육각 프리즘 실험은 예비교사들에게 상에 대한 개념을 발달시키는데, 연구1에 의하면 대부분의 예비교사들은 입자가 하나 또는 다수인 각각의 상황에서 입자의 개수가 단지 많아졌다고 색이 뒤바뀌는 자신의 생각에 불만이 있었다. 또한 실험을 통해 예비교사들은 새로운 개념은 이해할 수 있으며, 기존의 개념보다 그럴 듯해 보이며 유용하기 때문에 개념 변화를 한 것으로 생각할 수 있다. 그럼에도 불구하고 육각 프리즘 실험을 달무리 현상과 연관지어 설명해보라는 활동지의 답변을 분석한 결과 예비교사들은 여전히 큰 어려움을 느끼는 것으로 나타났다.

육각 프리즘 실험의 효과는 표 5-10처럼 표현할 수 있다. 실험 수업 전에는 상에 대한 개념이 부족하여 본검사 Q1 문항에 어려움을 겪었던 예비교사들이 실험을 수행한 후에는 높은 이해 수준을 보였다. 또한 예시 현상 실험은 관측의 실재성 측면에서 인위적인 이론과 자연 현상의 가교 역할을 한다고 할 수 있다. 그러나 예비교사들은 하나의 입자를 이용한 실험을 통해 다수의 입자를 추론하는 것에 어려움을 느꼈기 때문에 달무

리 현상을 이해하는데 어려움이 있다.

[표 5-10] 육각 프리즘 실험 전후 비교



따라서 육각 프리즘 실험은 관측 상황을 고려해야 하는 문항에 어려움을 느끼는 상에 대한 개념이 부족한 예비교사들에게 상에 대한 과학적인 개념을 가지게 하는데 큰 도움을 준다고 볼 수 있다. 그러나 달무리를 이해하기 위해서는 입자의 개수가 하나에서 다수로 늘어나는 상황에 대한 추론이 필요한데 육각 프리즘 실험은 이러한 추론에 도움을 줄 수 없다는 점에서 한계가 있다.

5.2.3. 코로나 예시현상 실험 수업의 효과

코로나를 단순화한 코로나 예시현상 실험은 육각 프리즘 실험과 마찬가지로 대부분의 예비교사들이 신기하고 흥미롭다는 반응을 보였다. 이는 표 5-11의 8번 연구 참여자와의 면담 내용을 통해 살펴볼 수 있다.

[표 5-11] 연구 참여자 8과의 인터뷰

8번 참여자: 선생님 이 실험 되게 신기한 것 같아요.

연구자: 왜?

8번 참여자: 마스크에 점만 찍혀 있는데, 왜 이러한 무늬가 보이죠?

코로나에 관한 본검사에 의하면 Q2 문항에 대해 2명의 예비교사만이 과학적인 이해를 하고 있었다. 그러나 코로나 분광 분포에 관한 사후 검사지의 답변을 살펴보면 8명의 예비교사들이 과학적인 이해를 하고 있음을 확인할 수 있었다.

[표 5-12] 상에 대한 과학적인 개념

현상	실험 수행 전	실험 수행 후
	본 검사지	사후 검사지
코로나	2	8

표 5-13은 코로나 현상에 대한 이해가 변한 5번과 6번 예비교사들의 답변을 예시로 제시하였다. 본 검사에서는 코로나에 대한 이해가 부족하였으나 사후 검사 결과를 통해 실험을 수행한 후 코로나에 의한 빛의 분광 분포에 대해 과학적인 설명을 하고 있음을 알 수 있다. 이러한 변화는 코로나 현상에 대한 이해도가 높아진 것이라고 볼 수 있다.

[표 5-13] 코로나 설명의 변화

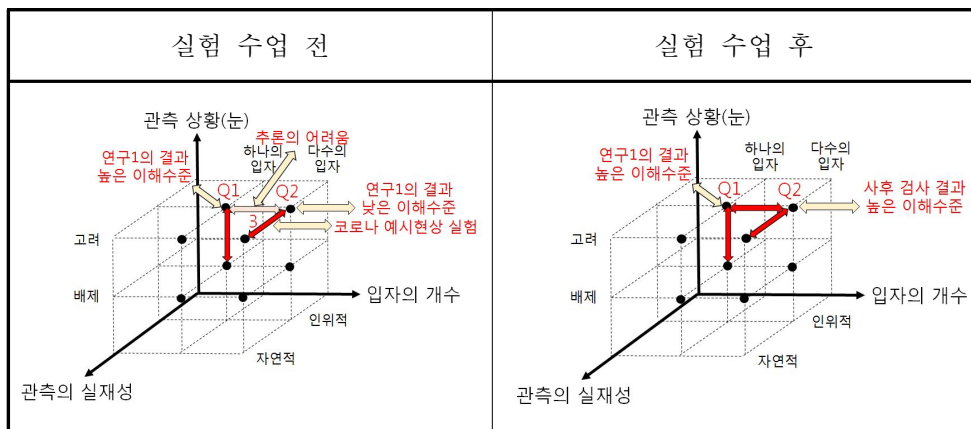
연구 참여자	본 검사지	사후 검사지
5	<p><설명 없음></p>	<p>문밖으로 장애물 덕분에 원형 구멍에서의 현상이 일어난다. 이때 $\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$ 이므로 파장이기 빨간 빛이 바깥쪽에서 그림을 형성한다.</p>
6		

두 연구 참여자 모두 코로나의 분광 분포를 원형 구멍에 의한 회절로 설명하고 있다. 이는 코로나 예시현상 실험이 하나의 입자에서 다수의 입자로 입자의 개수가 늘어나는 것을 고려해야 하는 문항에 어려움을 느끼는 예비교사들에게 큰 도움을 주는 것을 의미한다. 8명의 예비교사들 모두 이러한 방법으로 분광의 분포를 설명 하였다.

코로나 예시현상 실험의 효과는 표 5-14처럼 나타낼 수 있다. 실험 수업 전에는 눈에 대한 이해가 부족하여 본검사 Q2 문항을 추론하는데 어

려움을 겪었던 예비교사들이 실험을 수행한 후에는 높은 이해수준을 보였다. 이를 통해 예시현상 실험은 관측의 실재성 측면에서 인위적인 이론과 자연적인 자연 현상의 가교 역할을 했다고 볼 수 있다. 따라서 대부분의 예비교사들이 코로나 현상을 이해할 수 있었다. 이는 코로나 예시현상 실험이 코로나를 심층적으로 이해하기에 유용한 실험임을 의미한다.

[표 5-14] 코로나 예시현상 실험 전후 비교



5.3. 결과

연구1의 결과에 따르면 분광의 원인으로 회절을 답한 예비교사도 2명이 있었다. 그러나 사후 검사지를 분석한 결과 표 5-15와 같이 11명의 예비교사가 코로나에서 관찰되는 분광의 원리가 회절과 관련 있다고 답하였다. 코로나 예시현상 실험이 예비교사들에게 분광이 회절과 관련이 있음을 예비교사들이 알게 된 것이다.

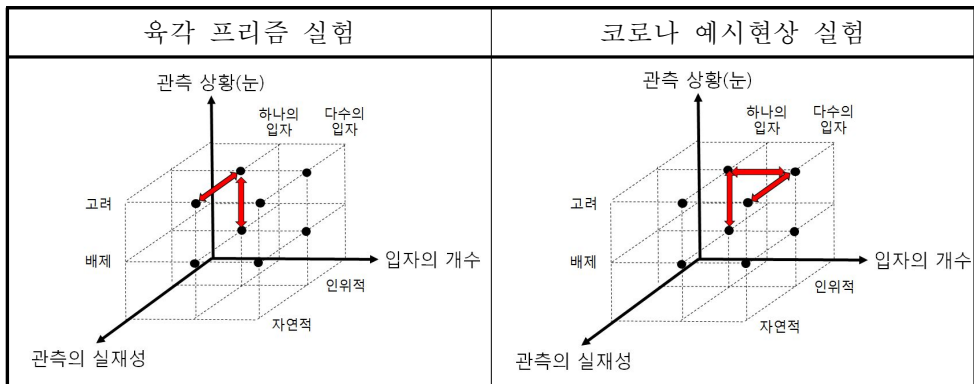
[표 5-15] 각 문항에 과학적인 답변을 한 예비 교사의 수

문항	실험 수행 전	실험 수행 후
	사전 검사지	사후 검사지
회절을 분광의 원인으로 답변	2	11

예비교사들은 달무리와 코로나와 관련한 두 실험에 공통적으로 신기하고 흥미롭다는 반응을 보였다. 육각 프리즘 실험은 상에 대한 과학적인 개념 형성을 돕는 데에는 충분하나 달무리를 심층적으로 이해하기에는 부족한 실험이다. 반면 코로나 예시현상 실험은 코로나를 이해하기 충분히 의미있는 실험이다.

육각 프리즘 실험과 코로나 예시현상 실험은 표 5-16처럼 나타낼 수 있다. 육각 프리즘 실험은 관측 상황을 고려하여 상에 대한 과학적인 개념을 가지게 하거나 자연적인 현상을 관측할 수 있게 한다는 점에서 의미가 있다. 그러나 하나의 입자를 이용한 실험으로 예비교사들이 실험을 수행한 후에도 입자의 개수가 많아지는 것을 추론하는데 어려움이 있었다. 반면 코로나 예시현상 실험은 관측 상황을 고려할 수 있어서 상에 대한 과학적인 개념을 형성할 수 있고, 입자의 개수를 조절할 수 있어서 눈의 특성에 대한 이해를 돕는다. 또한 자연적인 현상을 관찰할 수 있다는 점에서 의미가 있으며, 코로나에 대한 이해가 높아짐도 확인할 수 있었다.

[표 5-16] 육각 프리즘 실험과 코로나 예시현상 실험 비교



사후 검사에서 새로 알게 되었거나 어려웠던 내용을 정리하면 표 5-17과 같다. 예비교사들은 새로 알게 되었거나 어려웠던 내용으로 상에 대한 개념, 눈의 특징, 분광의 원리 등을 답했다. 이는 본 연구에서 논의한 바와 같다.

[표 5-17] 사후 검사지 답변

	[1번] - 상에 대한 개념 색의 분포를 예측해 보는 것
	[2번] - 눈의 특징 여러 개의 입자로 인하여
	[1, 2, 3번] - 분광의 원리 모든 것! 분광에 대한 기존 개념은 다 헛거였습니다. 회절 이라니;;; 회절에 의해서 코로나가 형성된다는 점.

VI. 요약 및 결론

6.1. 요약

본 연구는 먼저 무지개, 달무리, 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대한 예비교사들의 이해수준을 조사하고 그 원인을 분석하였다. 그리고 달무리, 코로나와 관련한 육각 프리즘 실험 및 달에 의한 코로나 예시현상 실험을 개발·적용하여 빛과 상에 대한 개념 및 달무리, 코로나의 이해에 각각 어떠한 효과가 있는지 분석하였다. 이를 위해 서울소재 사범대학 물리교육 전공 학생 13명에게 직접 개발한 검사지를 설문하였다.

분광의 원리를 묻는 질문에서는 13명의 예비교사들 모두 분산이 관련이 있다고 답하였다. 그러나 회절도 관련이 있다고 답한 예비교사는 2명밖에 없었다. 이는 교과서에서 분광에 관한 설명으로 분산을 한정하고 있기 때문이다.

무지개, 달무리, 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대한 이해수준을 조사한 결과 예비교사들은 달무리, 무지개, 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대해 낮은 이해 수준을 보였다. 달무리와 무지개를 이해하고 있는 예비교사는 1명밖에 없었으며, 코로나 현상을 이해하고 있는 예비교사는 2명밖에 없었다.

무지개, 달무리, 코로나에서 관찰되는 분광 현상에 대한 이해수준이 낮은 이유는 다음과 같다. 첫째, 대부분의 예비교사들은 상에 대한 개념이 부족하여 광선 추적을 하는데 어려움을 느꼈다. 둘째, 대부분의 예비교사들은 눈에 대한 이해가 부족하여 입자의 개수가 많아지는 것에 어려움을 느꼈다. 셋째, 상에 대한 개념과 눈에 대한 이해의 부족으로 인하여 무지개를 설명하는 교과서를 이해하기에도 어려움을 느꼈다.

달무리, 코로나와 관련한 육각 프리즘 실험 및 달에 의한 코로나 예시현상 실험을 개발·적용해 본 결과 육각 프리즘 실험은 상에 대한 개념

이 과학적이지 않은 12명의 예비교사들 중 10명에게 상에 대한 과학적인 개념을 가지게 하는데 큰 도움을 주었다. 그러나 달무리를 이해하는 예비교사의 수는 변함이 없었다.

코로나 예시현상 실험은 상에 대한 과학적인 개념뿐만 아니라 눈의 특성을 이해하는데도 도움을 주어 코로나에 대한 이해가 부족한 11명의 예비교사들 중 6명의 예비교사들이 코로나를 이해하는데 도움을 주었다.

육각 프리즘 실험 및 달에 의한 코로나 예시현상 실험의 효과는 본 연구에서 개발한 현상 분류틀을 이용하면 표 6-1과 같이 나타낼 수 있다. 육각 프리즘 실험은 관측 상황을 고려하여 상에 대한 과학적인 개념을 가지게 하거나 현상을 관찰할 수 있다는 점에서 의미가 있다. 그러나 하나의 입자를 이용한 실험의 한계로 실험을 수행한 후에도 달무리를 이해하는데 어려움이 있다. 반면 코로나 예시현상 실험은 관측 상황을 고려할 수 있어서 상에 대한 과학적인 개념을 형성할 수 있고, 입자의 개수를 조절할 수 있어서 눈의 특성에 대한 이해를 돕는다. 또한 자연적인 현상을 관찰할 수 있다는 점에서 의미가 있으며, 코로나에 대한 이해가 높아짐도 확인할 수 있었다.

[표 6-1] 육각 프리즘 실험과 코로나 예시현상 실험 비교

육각 프리즘 실험	코로나 예시현상 실험

6.2. 결론 및 시사점

무지개라는 자연 현상을 예비교사들에게 이해시키기 위한 기존 중학교 교과서 및 일반물리학 교과서의 설명 방식은 무지개 예시현상을 이용한 설명이다. 무지개 예시현상을 이용한 설명은 입자의 개수가 여러 개이며, 관측 상황을 고려하지만 예비교사들이 알고 있는 분산은 입자의 개수가 하나이고 관측상황을 고려하지 않은 프리즘과 같은 상황이다. 따라서 예비교사들은 무지개 현상에 대한 교과서의 설명을 자신이 알고 있는 프리즘 현상과 연계시키지 못하고 무지개 현상을 과편적으로 이해하고 있었다. 두 현상을 연계 시키지 못하는 이유는 관측 상황을 고려하기 위한 상에 대한 개념이 과학적이지 않고 입자의 개수가 많아지는 것을 이해하기 위해서는 눈에 대한 이해가 필요하기 때문이며 이는 달무리, 코로나 현상에서도 확인할 수 있었다.

이를 개선하기 위한 육각 프리즘 실험과 코로나 예시현상 실험을 수행해본 결과, 관측 상황과 관측의 실재성만 고려한 육각 프리즘 실험은 예비교사들의 달무리 현상 이해에 도움을 주지 못한 반면 관측 상황, 입자의 개수와 관측의 실재성을 고려한 코로나 예시현상 실험은 예비교사들이 코로나 현상을 이해하는데 큰 도움을 주는 것을 확인하였다.

따라서 학생들에게 자연 현상에 대한 이해 및 탐구를 목적으로 실험을 설계할 때는 관측 상황, 입자의 개수, 관측의 실재성을 고려하여 설계하여야 한다. 또한 교과서는 무지개와 같은 자연 현상에 대한 설명을 제시할 때 학생들이 알고 있는 프리즘에 의한 분산과 연계할 수 있도록 해야 비슷한 개념의 다른 상황인 달무리 현상에도 적용할 수 있을 것이다.

무지개, 달무리, 코로나는 실생활 속에서 흔히 접할 수 있고 특히 무지개는 교과서에서 다루어지고 있어 우리에게 매우 친숙한 자연현상이다. 그럼에도 불구하고 연구에 참여한 대부분의 예비교사들의 이해 수준이 낮다는 점은 문제가 있다고 생각할 수 있다. 그러나 관련 실험을 통해 예비교사의 이해도가 개선되고, 과학적인 개념이 형성됨을 확인할 수 있

었다. “자연을 과학적으로 탐구하거나 이해하는 능력 배양”이라는 교육 목표를 달성하기 위해서는 자연 현상에 관한 다양한 실험 개발과 더불어 이에 관한 많은 연구 및 교재 개발에 힘써야 할 것이다.

본 연구에서 개발한 코로나 예시현상 실험은 코로나라는 복잡한 자연현상을 실험실에서 탐구하고, 또 간단한 원리로 설명할 수 있는 실험으로 학생들의 물리에 대한 호기심을 끌기에 충분하다. 또한 파동 광학 영역에 속한 실험이기에 기하 광학 영역에 치우쳐 있는 현행 교육 과정에서 학생들이 빛의 파동성을 인지할 수 있는 적절한 주제의 실험이라 할 수 있다. 그러나 학생들이 원형 구멍에 의한 빛의 회절을 정량적으로 이해하기는 어려울 수 있으므로 학교 현장에서 실험 시 마스크를 제작한 후에 백색광 혹은 LED를 이용하여 관찰하도록 한다. 본 연구에서 개발한 코로나 예시현상 실험은 빛의 파동성에 의한 현상인 회절과 코로나 현상을 이해하는데 큰 도움을 줄 것으로 기대하는 바이다.

참 고 문 헌

- 교육과학기술부. 2007 초등학교 교육과정 해설(과학)
- 교육과학기술부. 2007 중학교 교육과정 해설(과학)
- 교육과학기술부. 2007 고등학교 교육과정 해설(과학)
- 교육과학기술부. 2009 초등학교 교육과정 해설(과학)
- 교육과학기술부. 2009 중학교 교육과정 해설(과학)
- 교육과학기술부. 2009 고등학교 교육과정 해설(과학)
- 강은희, 이강웅, 이효재, 김현수 (2008). 대칭적인 육각형 구멍의 프라운호퍼(Fraunhofer) 회절에 대한 교육방안. 새물리, 56(3), 155-161.
- 고재근, 이혜정 (2010). 초·중등학교 과학 교과서의 안경광학 관련 개념의 연계성 분석. 대한시과학회지, 12(1), 19-30.
- 국진선 (2005). 평면거울에 의한 상에 대한 대학생의 이해도 조사. 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 권경필, 방소운, 이성묵, 이경호 (2006). 광학분야에서 학생 개념의 상황의존성: 시각과 거울상을 중심으로. 한국과학교육학회지, 26(3), 406-414.
- 권경필 (2007). 조작적·해석적 관찰에 기초한 개념학습 프로그램 설계 및 중학생의 광학 개념변화: 거울상과 굴절상을 중심으로. 서울대학교 박사학위 논문.
- 권경필 (2011). 초·중학교 학생의 빛의 이동경로에 대한 개념 및 일관성 비교. 새물리, 61(7), 643-650.
- 김경대, 김지나, 김광수, 한병래 (2007). 예비 과학교사의 소리 파동 관련 오개념 분석. 새물리, 55(6), 397-408.
- 김성원 외 19인 (2013). 중학교 과학2, 서울: 두배의느낌.
- 김성진 외 11인 (2013). 중학교 과학2, 서울: 미래엔.

- 김은정, 이강웅, 원경도, 송재웅, 이성태, 김영아, 김현수 (2004). 교육현장에서 H-형 구멍의 프라운호퍼(Fraunhofer) 회절에 대한 실습방안. 새물리, 48(1), 60-66.
- 김연훈, 송영욱, 김범기 (2012). 고등학생들이 선호하는 전기회로도의 유형 및 이해도 조사. 새물리, 62(10), 1085-1094.
- 김익균, 박윤배, 박종원, 송진웅, 최경희 (2002). 물리 교육학 총론 II. 서울: 북스힐.
- 김종주, 정미숙, 오원근, 김익균 (2010). 중학교 학생들의 과학탐구 수행 과정에서 제시된 변인에 대한 이해. 새물리, 60(5), 479-487.
- 김진희 (2004). 7학년 '빛' 단원에서의 광선추적과 빛의 합성에 대한 교사들의 개념 이해도 조사. 서울대학교 석사학위 논문.
- 김찬중 외 11인 (2013). 중학교 과학2, 서울: 두산동아.
- 김현진 (2005). 중등 과학예비교사들의 상 형성에 대한 개념연구 및 탐구중심적 물리개념발달 프로그램 개발. 단국대학교 석사학위 논문.
- 김희경 (2011). 무지개를 활용한 과학영재활동에 나타난 과학영재의 특징 분석. 영재교육연구, 21(1), 39-56.
- 박미진, 김영민 (2003). 물리 외 교과서에 제시된 물리적 현상 설명이 학생들의 물리 개념 형성에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 23(2), 155-164.
- 박봉상 외 8인 (2013). 중학교 과학2, 서울: 동화사.
- 박승재, 조희형 (1994). 학습론과 과학교육. 서울: 교육과학사
- 박정우, 유준희 (2010). 구체적 대 추상적, 거시적 대 미시적 관점에서 분석한 소리 나는 관 안의 공기 운동에 대한 물리1 교과서와 교사의 설명 분석. 새물리, 60(9), 960-975.
- 박지연, 이경호 (2004). 과학개념변화 연구에서 학생의 개념에 대한 이해:오개념에서 정신모형까지. 한국과학교육학회지, 24(3), 621-637.

- 박희송 외 15인 (2013). 중학교 과학2, 서울: 교학사.
- 방소운 (2007). 광학 기초개념을 강조한 ‘빛’ 단원 수업에 의한 학생의 상황 의존성 변화 분석 : 시각과 거울상을 중심으로, 서울대학교 석사학위 논문.
- 배성열 (2000). 교사들이 인식하는 과학과 목표의 영역별 중요도와 장애요인. 한국과학교육학회지, 20(4), 572-581.
- 배성열, 박운배 (2000). 교사들이 인식하는 과학과 목표의 영역별 중요도와 장애요인. 한국과학교육학회지, 20(4), 572-581.
- 배호정 (2003). 중학생들의 빛의 굴절에 관한 개념 조사. 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 백성혜, 박영주 (2002). 초등·중등학교 과학교과서에 나타난 열, 온도 개념에 대한 분석. 한국과학교육학회지, 22(3), 478-489.
- 백성혜, 정연경 (2009). ‘빛과 상’에 대한 초등 교사들의 이해와 학습 내용에 대한 인식 변화에 대한 사례 연구. 한국초등과학연구, 28(3), 245-262.
- 서울대학교 과학교육연구소 (2004). 빛의 상과 색의 원리. 서울대학교.
- 송영욱 (2012). 과학영재들의 물체에 작용하는 힘에 대한 이해 및 힘을 표현한 화살표의 유형 분석. 새물리, 62(8), 793-800.
- 송영욱, 조소라, 이신영, 김범기 (2012). 중·고등학생들의 물체의 운동에 대한 선 그래프 이해. 새물리, 62(10), 1075-1084.
- 송진웅 (1997). 과학교육에서의 상황 관련 연구에 대한 개관과 분석. 한국과학교육학회지, 17(3). 273-288.
- 신민경 (2007). 중등교육과정에서 빛 단원을 위한 멀티미디어 학습자료 개발 : 무지개의 이해를 통하여. 강원대학교 석사학위 논문.
- 안정곤, 윤성현 (2013). 물체의 크기를 고려해야 하는 상황에서 물체에 작용하는 힘에 관한 분석과 대학생들의 이해 조사. 새물리, 63(6). 597-605.
- 양찬호, 김지영, 신필여, 위햇님, 신명환, 강도영, 김소요, 민현식, 김찬중,

- 노태희 (2011). 과학 학습 과정에서 나타나는 중간언어의 유형 및 과학 언어에 대한 이해수준 변화에 따른 중간언어의 특징. 한국과학교육학회지, 31(5), 745-757.
- 오원근, 김재우 (2002). 시각 및 빛의 성질에 대한 중학생의 개념. 새물리, 45(3), 163-170.
- 오원근 (2003). 학생의 개념과 구성주의적 과학교육. 과학교육연구논총, 19(1), 1-18.
- 오원근, 김재우 (2006). 물리 전공이 아닌 중등학교 과학교사들의 빛과 파동 개념. 새물리, 52(6), 512-520.
- 오현주 (2008). 상 인식 과정을 강조한 7학년 빛 단원 수업의 효과. 한국 교원대학교 석사학위 논문.
- 오희균, 박종원 (2009). 사범대학생의 역학과 전자기 개념 이해 분석 -다양한 분석과 해석 방법을 중심으로-. 새물리, 59(1), 27-38.
- 유준희 외 11인 (2013). 중학교 과학2, 서울: 천재교육.
- 이길재 외 11인 (2013). 중학교 과학2, 서울: 중앙교육진흥연구소.
- 이면우 외 12인 (2013). 중학교 과학2, 서울: 천재교육.
- 이면우 외 12인 (2013). 2009 교육과정 중학교 과학2, 서울: 천재교육.
- 이봉우, 이양락 (2005). 제 7차 과학과 교육과정 물리 내용의 적정성 분석 및 평가. 새물리, 50(6), 383-393.
- 이봉우, 신원하, 김희경 (2012). 무지개의 물리탐구교육에의 활용성 탐색 : 물방울의 굴절률에 따른 무지개 형성각도 분석. 새물리, 62(5), 439-444.
- 이봉우 (2014). 물리교육에서의 무지개 활용 방안에 대한 탐색. 새물리, 64(4), 417-425.
- 이선희, 김중복 (2010). 자라는 그림자. 현장과학교육학회지, 4(1), 27-32.
- 이성묵 외 11인 (2013). 중학교 과학2, 서울: 금성출판사.
- 이순덕, 강동식, 강정우 (1992). 무지개 현상에 대한 정성적 고찰. 과학교육, 9(1), 81-100.

- 이을수, 백남권, 박종호 (2008). 과학 영재 학생과 일반 학생의 자기장에 대한 오개념 조사. 새물리, 56(3), 171-178.
- 이인호 (2006). 물리 예비 교사들의 빛의 간섭과 회절에 대한 오개념과 원인 분석. 서울대학교 박사학위 논문.
- 이재봉, 남경운, 손정우, 이성묵 (2004). 광선추적과 스펙트럼에 대한 교사와 중학생의 개념 유형 분석. 한국과학교육학회지, 24(6), 1189-1205.
- 이주현, 송진웅 (2007). 물리 전공 학생들의 엔트로피 개념에 대한 이해의 어려움. 새물리, 55(4), 182-191.
- 이준용 (2005). 단일슬릿 회절에 관한 고등학생들의 개념 특성 분석. 한국교원대 석사학위 논문.
- 이준용 외 11인 (2013). 중학교 과학2, 서울: 비상교육.
- 이효재, 김현수, 송지연 (2010). 사다리꼴 구멍의 프라운호퍼(Fraunhofer) 회절에 대한 실험방안. 새물리, 60(1), 35-43.
- 이효재, 김현수 (2012). 광학 교육용 프라운호퍼 회절 실험방안. 광학 교육용 프라운호퍼 회절 실험방안. 새물리, 62(4), 388-398.
- 이훈희, 윤재선 (2013). 광활성 필터를 활용한 STEAM 교육 프로그램 개발과 적용 (회절·간섭 실험을 중심으로). 새물리, 63(10), 1104-1111.
- 이현주 (1992). 빛에 대한 중·고등학교 학생들의 개념, 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 임성민, 이정원, 조영신 (2002). 중학생의 음향학 관련 개념에 대한 이해 조사. 새물리, 45(6), 338-344.
- 임성민, 김재경. (2012). 대학생들의 양자물리 기초개념 이해 조사. 새물리, 62(2), 135-141.
- 임용우 (2014). 우리나라 초·중등학교 과학교육 정책의 변천에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
- 정계삼, 이경호 (2009). 대학 전공 역학 과정에서 학생이 경험하는 Curl

- 이해의 어려움과 그 원인구조. 새물리, 58(1), 48-61.
- 조광희, 송진웅, 서정아 (2010). 과학 교과서의 예시 유형 분석틀 개발. 새물리, 60(3), 283-292.
- 지영래, 송진웅 (2014). 유체 속 물체의 위치와 운동에 대한 예비교사의 이해. 새물리, 64(4), 426-435.
- 최재순 (2009). 광선추적법 활용수업 전·후 중학생의 빛 개념 조사. 한국교원대학교 석사학위 논문
- 최재혁 (2007). 현대 물리 개념 설명과 이해과정에서 시각 이미지의 역할. 새물리, 54(1), 16-20.
- 한인수, 권난주, 권재술 (2001). 인지갈등 유발 수업에서 오개념에 대한 확신도가 개념변화에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 21(4), 689-696.
- 한인식, 이신영, 민보경 (2010). 국내외 물리 및 지구과학 교과서의 원심력 개념 사용 비교. 새물리, 60(10), 1085-1093.
- 허원 (1998). 고등학교 물리 학습을 위한 빛의 성질 교육 방법 연구. 연세대학교 석사학위 논문.
- 현종오 외 16인 (2013). 중학교 과학2, 서울: 좋은책신사고.
- 홍석인, 최제영 (2004). 자석 유추를 통한 기압의 이해. 새물리, 48(1), 27-30.
- 황민정 (2011). 시차법과 광선추적법 수업에 의한 학생들의 상 개념 변화. 서울대학교 석사학위 논문.
- 황숙경, 박종호 (2013). 시각 장애 학생을 위한 용수철 실험 기구의 개발과 적용. 새물리, 63(8), 860-866.
- Akira Hitachi, Momo Takata (2010). Babinet's principle in the Fresnel regime studied using ultrasound. Am. J. Phys, 78(7), 678-684.
- Amarjit Singh, Philip H. Butler (1990). Refraction: conceptions and knowledge structure. International Journal of Science

- Education, 12(4). 429-442.
- Anderson, C. W., Smith, E. L. (1986). Children's conception of light and color : developing the concept of unseeing rays, the Annual Meeting of American Research Association.
- Bevilacqua, F., Giannetto, E. (1995). Hermeneutics and Science Education : The Role of History of Science. International Journal of Science Education 4, 115-126.
- Bodner, G. M. (1991). 'I have found you an argumwnt'. Joournal of Chemical Education, Vol.5.
- Bradley S. Ambrose, Peter S. Shaffer, Richard N. Steinberg, Lillian C. McDermott (1999). An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference. Am. J. Phys, 67(2). 146-155.
- Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cooking, R. (2000). How people Learn: Brain, Mind, Experience, and School. Washinton, D. C.: National Academy Press.
- Buty, C., Mortimer, E. F. (2008). Dialogic/Authoritative Discourse and Modelling in a High School Teaching Sequence on Optics, International Journal of Science Education, 30(12), 1635-1660.
- C. Andreou, A. Raftopoulos (2011). Lessons from the History of the Concept of the Ray for Teaching Geometrical Optics. Sci & Educ, 20, 1007-1037.
- Clough, E. E., Driver, R.(1986), A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. Science Education, 70(4), 473-496.
- David Amundsen, Camilla Nestande Kirkemo, Andreas Nakkerud, Jorgen Trømborg, Arnt Inge Vistnes (2009). The rainbow as a student project involving numerical calculations, American

- Journal of Physics, 77(9), 795–798.
- David F. Treagust, Gail Chittleborough and Thapelo L. Mamiala (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368.
- Davis, N. T. (1993). Transitions from objectivism to constructivism in science education. *International Journal of Science Education*, 15(6), 627–636.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and learning of science, *International Journal of Science Education*, 30(4), 230–235.
- Eger, M. (1992), *Hermeneutics and Science Education : An Introduction*. *International Journal of Science Education* 1, 337–348.
- Eger, M. (1997). Achievements of the hermeneutics–phenomenological approach to natural science. *Man and World*, 30(3), 343–367.
- F. Javier Perales Palacios , Francisco Nieves Cazorla & Agustin Cervantes (1989). Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables. *International Journal of Science Education*, 11(3). 273–286.
- Fetherstonehaugh, A., Happs, J., Treagust, D. (1987). Students' understanding of light and its properties: Teaching to engender conceptual change. *Research in Science Education*, 17, 156–164.
- Fetherstonhaugh, T., Treagust, D. F., (1990). the Annual Meeting of the American Educational Research Association.
- Floyd M . Read (1971). The Value of a Study of Wave Motion on the Learning of Certain Principles of Physical Optics. *Journal of Research in science teaching*, 8(4), 393–398.
- Francoise Chauvet (2006). Teaching Colour: designing and evaluation of a sequence. *European Journal of Teacher Education*, 19(2),

121-136.

- G. Planinsvicv, A. Corona and J. Slisko (2008). Rainbow-Like Spectra with a CD: An Active-Learning Exercise. *The physics teacher*, 46, 329-333.
- Galili, I., Bendell, S., Goldberg, F. (1991). Some reflections on plane mirrors and images. *The Physics teacher*, 29(7), 471-477.
- Galili, I., Bendell, S., Goldberg, F. (1993). The Effect of Prior Knowledge and Instruction on Understanding Image Formation, *Research in Science Education*, 30(3), 271-301.
- Galili, I. (1996). Students' conceptual change in geometrical optics, *International Journal of Science Education*. 18(7), 847-868.
- Galili, I., Lavrik, V. (1998). Flux Concept in Learning about Light: A Critique of the Present Situation, New York: John Wiley & Sons, 591-613.
- Galili, I., Hazan, A. (2000). Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57-88.
- Goldberg, F. M., McDermott, L. C. (1986). Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *the Physical Teacher*, 24(8), 472-480.
- Goldberg, F. M., McDermott, L. C. (1987). An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, 55(2), 108-119.
- Guesne, E. R. Driver, Tiberghien, A. (1985). *Light. Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Hakan Isik, Kemal Yurumezoglu (2012). Two Simple Activities to Bring

- Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J. (2005). Fundamentals of physics. 7th ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Hecht, E. (1998), Optics. Reading, MA: Addison-Wesley. 98.
- Heidegger, M. (1935). Wegmarken, Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main, 신상희, 이선일(역) (2005), 「이정표 I, II」, 한길사.
- James A. Lock and Leiming Yang (1991). Mie theory model of the corona. Applied Optics, 30(24). 3408-3414.
- Jearl D. Walker (1976). Multiple rainbows from single drops of water and other liquids. Am. J. Phys. 44(5). 421-433.
- Jenkins, F. & White, H. (1981). Fundamentals of optics. 4th ed. McGraw-Hill, Inc.
- Jinwoong Song & Paul J. Black (2007). The effects of concept requirements and task contexts on pupils' performance in control of variables. International Journal of Science Education, 14(1), 83-93.
- John Harsch, Jearl D. Walker (1975). Double rainbow and dark band in searchlight beam. Am. J. Phys. 43(5). 453-455.
- John K. Gilbert (2007). Visualization in science education, Springer.
- Joseph A. Shaw, Paul J. Neiman (2003). Coronas and iridescence in mountain wave clouds. Applied Optics, 42(3). 476-485.
- Jung, W. (1987). Understanding student's understanding : the case of Elementary Optics, Vol. III, Cornell Univ.
- Karen Wosilait, Paula R. L. Heron, Peter S. Shaffer, Lillian C. McDermott (1999). Addressing student difficulties in applying a wave model to the interference and diffraction of light. Phys. Educ. Res., Am. J. Phys. Suppl. 67(7), S5-S15.
- L. Cowley, P. Laven and M. Vollmer (2005), Rings around the sun

- and moon: coronae and diffraction. *Phys. Educ.* 40(51), 51-59.
- L. Viennot & C. de Hosson (2012). Beyond a Dichotomic Approach, The Case of Colour Phenomena. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1315-1336.
- L. C. McDermott, P. S. Shaffer and the Physics Education Group Department of Physics University of Washington. (2002) *Tutorials in Introductory Physics*. Vol 1, Part 4, New Jersey, Prentice Hall. 185.
- Laurence Maurines (2010). Geometrical Reasoning in Wave Situations: The case of light diffraction and coherent illumination optical imaging. *International Journal of Science Education*, 32(14). 1895-1926
- Marilyn Fler (2007). Early learning about light: mapping preschool children's thinking about light before, during and after involvement in a two week teaching program. *International Journal of Science Education*, 18(7). 819-836.
- Mark F. Masters, Timothy T. Grove (2010). Active learning in intermediate optics through concept building laboratories. *Am. J. Phys.* 78(5). 485-491.
- McDermott, L., Shaffer, P., Rosenquist & Physics Education Group (1996). *Physics by Inquiry*, volume II. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Nicholas J. Wade (2008). Vision and Visualization. *Journal of the History of the Neurosciences*, 17(3), 274-294.
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University Press.
- Palacios, J. P., Cazorla, F. N., & Madrid, A. C. (1989). Misconceptions on geometric optics and their association with relevant

- educational variables. *International Journal of Science Education*, 11(3), 273–286.
- Pines, A. L., West, Leo, H. T. (1986). Conceptual Understanding and Science Learning : An Interpretation of Research within a Source-of-Knowledge Framework. *Science Education*, 70(5), 583–604.
- Rainbows into the Classroom. *The physics teacher*, 50, 38–39. Elsa Feher and Karen Rice Meyer (1992). Children's Conceptions of Color. *Journal of Research in science teaching*, 29(5), 505–520.
- Ronen, M., Eylon, B. (1993). To see or not to see : the eye in geometrical optics – when and how?. *Physics Education*, 28, 52–59.
- Roy R. Gould, Susan Sunbury (2012). Using online telescopes to explore exoplanets from the physics classroom. *Am. J. Phys.* 80(5). 445–451.
- Roy Tasker and Rebecca Dalton (2006). Research into practice: visualisation of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research and Practice*, 7 (2), 141–159.
- Stamatis Vokos, Peter S. Shaffer, Bradley S. Ambrose, Lillian C. McDermott (2000). Student understanding of the wave nature of matter: Diffraction and interference of particles. *Phys. Educ. Res., Am. J. Phys. Suppl.* 68(7). S42–S51.
- Stead, B. F., and R. J. Osborne (1980). Exploring science students' concepts of light. *Australian Science Teachers Journal*, 26(3), 84–90.

- Werner B. Schneider, Michael Vollmer (2006). Experimental simulations of pollen coronas. *Applied Optics*, 44(27). 5746-5753.
- White, R. (1988). *Learning Science*, Oxford : Basil Blackwell, 23-50.
- Wolff-Michael Roth, SungWon Hwang (2006) On the relation of abstract and concrete in scientists' graph interpretations: A case study. *Journal of Mathematical Behavior*, 25, 318-333.
- Wyrembeck, E. P. & Elmer, J. S. (2006). Investigating an aerial image first, *Science Teacher*, 73(2), 51-55.

Abstract

**Experimental lesson
development for improving
Pre-service teachers' scientific
understanding of rainbow, halo,
corona**

Huh jaehyuk

Department of science education

The Graduate School

Seoul National University

In this study, we research the level of understanding for the spectral phenomena observed in the rainbows, halos, corona and analyze the cause. We develop 'corona experiment', and 'hexagonal prism experiment' which is related to halo. We apply it to the pre-service teachers and analyze the effect that understanding of the rainbow and halo.

The pre-service teachers' level of understanding the spectral phenomena observed in the results of rainbow was shown not as good as generally expected. The reason is as follows. First, most of

the pre-service teachers had difficulty in understanding the ray tracing. Second, those teachers didn't reach to catch the increasing number of particles. Third, they didn't find it neither easy, to comprehend texts described to explain the rainbow.

We consider that Hexagonal prism experiment helps teachers to have the scientific concept of the image, but it's not so helpful to understand halo. Corona experiment can be treated as very useful to set up the concept of the corona. The hexagonal prism experiment was designed concerning only the reality of observation and the situation of observation and it has lack of concerning the number of particles. Therefore, an experiment should be designed, concerning all the three factors mentioned above, the reality of observation, the number of particles, and the situation of observation, so that students understand well the phenomena of the nature.

**keywords : spectrum, rainbow, moon halo, corona,
understanding, example phenomena**

Student Number : 2009-23417

부 록

[부록 1] 연구1 사전 검사지

[부록 2] 연구1 본 검사지

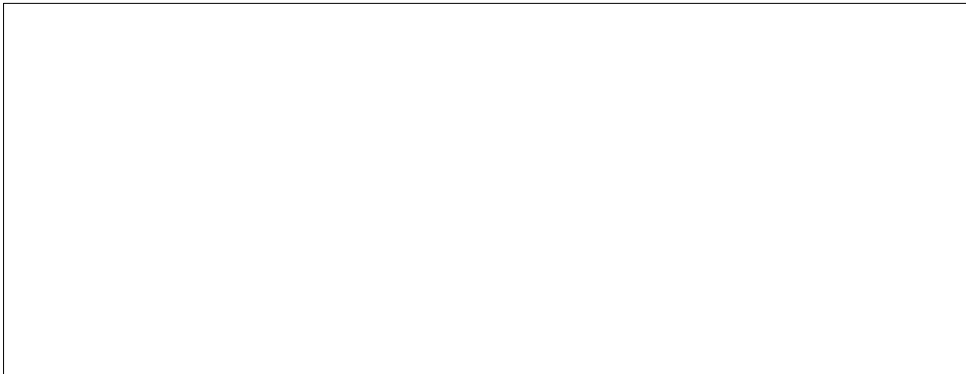
[부록 3] 연구2 활동지

[부록 4] 연구2 사후 검사지

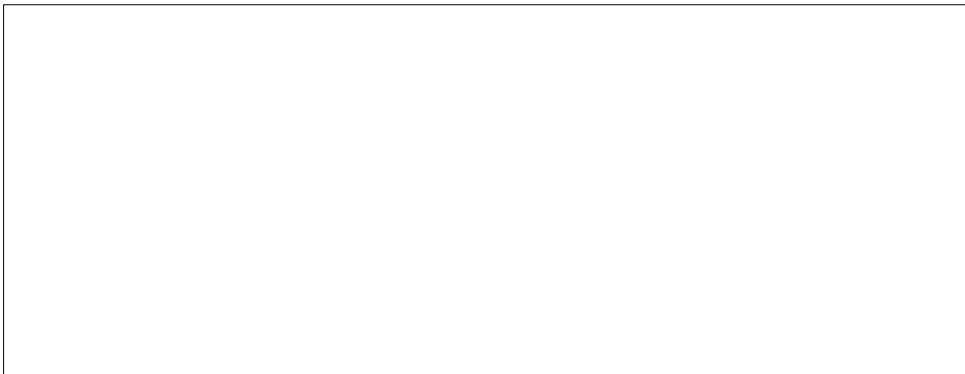
<부록1> 연구1 사전검사지

<달무리 및 코로나에 대한 배경 지식 확인>

1. 달무리를 본적이 있는가? 어떠한 모양이었는가? 자신이 생각하고 있는 달무리에 대해 그림을 그려서 설명해 보아라.



2. 달무리는 달에서 우리 눈으로 오는 경로 사이에 있는 물질에 의해 광학적 현상이 발생하여 나타나는 현상이다. 한 학기 동안 배운 광학적 지식을 이용하여 1번에서 그린 달무리의 특징과 연관시켜 달무리의 생성 원리를 기술해 보시오. (굴절, 반사, 간섭, 회절, 편광 등에서 필요한 단어를 포함하여)



3. 다음 두 사진에서 자신이 달무리라고 생각하는 사진을 고르시오. ()



(A)



(B)

4. (A)와 (B)의 경우, 자세히 보면 색이 분해되어 보임을 확인할 수 있다. 이처럼 색이 분해되어 보이는 것은 어떠한 광학적 원리 때문인지 설명해 보자.

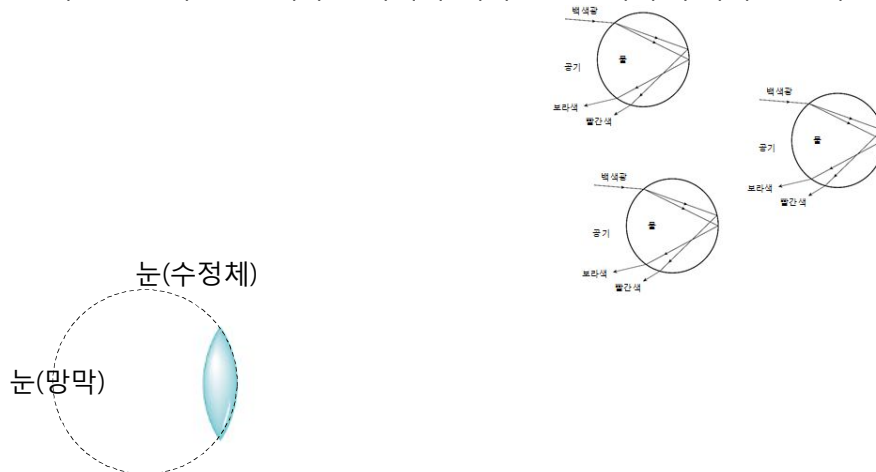
<부록2> 연구1 본 검사지

<무지개의 광학적 원리 탐구>

[생각해보기] 아래 그림은 우리 눈으로 무지개를 보는 원리를 모식적으로 나타낸 것이다. 우리 눈으로 "물방울 한 개"를 바라볼 때, 무지개는 어떠한 형태로 보일까? 빨간색과 보라색의 위치를 포함하여 무지개를 그려보아라.

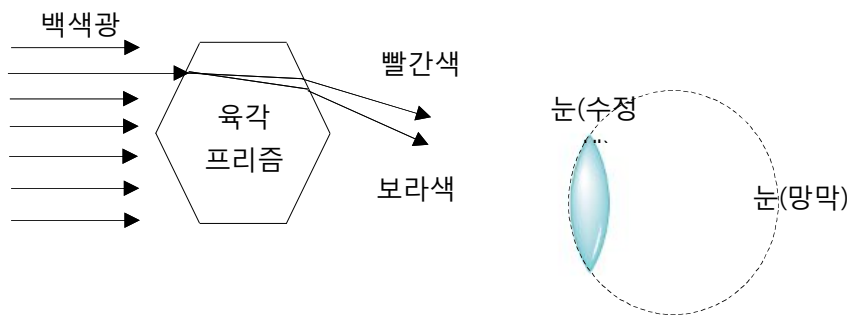


아래의 그림과 같이 우리 눈으로 "물방울 여러 개"를 바라볼 때, 무지개는 어떠한 형태로 보일까? 빨간색과 보라색의 위치를 포함하여 무지개를 그려보아라.

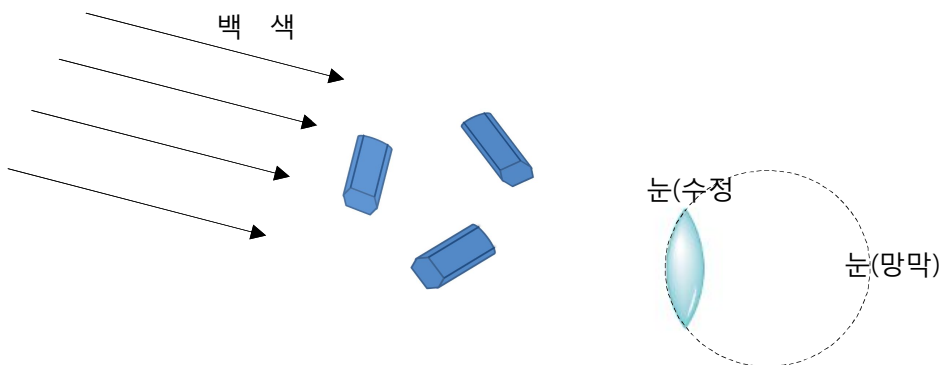


<달무리의 광학적 원리 탐구>

[생각해보기] (1) 아래 그림은 육각기둥 형태의 프리즘에 백색광이 입사했을 때, 입사되는 광선 중 하나가 굴절되는 경로와 굴절된 빛을 눈으로 보는 것을 모식적으로 나타낸 것이다. 우리 눈으로 바라볼 때, 어떠한 무늬(혹은 색의 배열)를 볼 수 있을까? 빨간색과 보라색의 위치를 포함하여 그려보아라.



(2) 아래 그림과 같이 만약 백색광(달빛)과 우리 눈 사이에 매우 작은 많은 육각기둥 형태의 프리즘이 무작위로 위치해 있다고 할 때, 백색광(달빛)을 바라보는 우리 눈에서는 어떠한 무늬가 관찰될 지 예상하여 그려보아라.

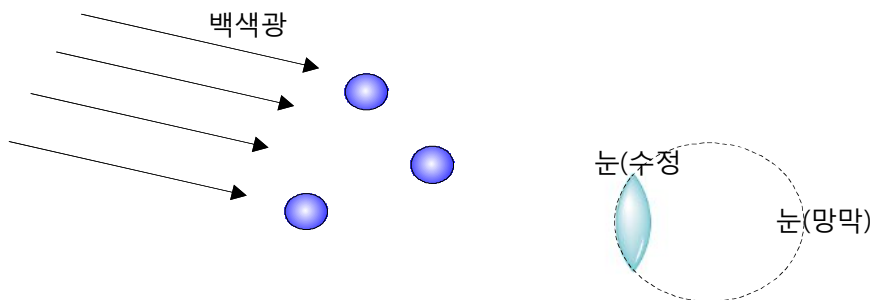


<코로나의 광학적 원리 탐구>

[생각해보기] 아래 그림은 반지름이 R 인 원형 구멍(혹은 원형 장애물)에 백색광을 입사시켰을 때, 빛의 파동적인 특성을 인해 스크린에 회절무늬가 생기는 것을 모식적으로 나타낸 것이다. 만약 스크린의 위치에 눈을 위치시키고, 구멍(혹은 원형 장애물)을 바라본다면 어떠한 회절무늬가 보이겠는가? 회절무늬에서 빨간색과 보라색의 위치를 포함하여 그려보아라.



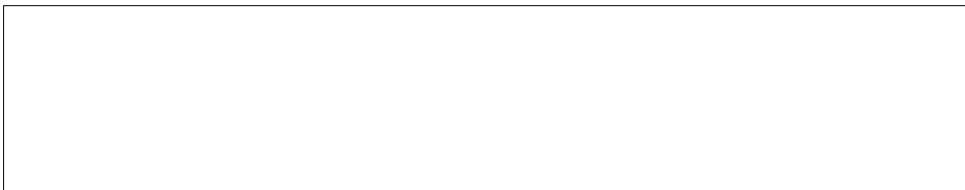
(2) 아래 그림과 같이 만약 백색광(달빛)과 우리 눈 사이에 매우 멀리, 작고 많은 구 형태의 장애물이 무작위로 위치해 있다고 하자. 이때, 백색광(달빛)을 바라보는 우리 눈에서는 어떠한 무늬가 관찰될 지 예상하여 그려보아라.



<부록3> 연구2 활동지

<육각 프리즘 실험>

(1) 육각 기둥에 물을 담고, 육각 기둥 뒤에는 스크린을 두고 한 명은 육각 기둥 앞에서 광원을 비추고 다른 한 명은 스크린을 관찰하시오. 육각기둥으로 입사하는 빛의 입사각도를 바꿔주기 위해 육각 기둥을 회전시키면서 어떠한 무늬(혹은 색깔)가 나타나는지 관찰해 보고, 관찰 결과의 특징적인 점을 그리시오.



(2) (1)과 같은 방법으로 실험하는데, 육각 기둥 뒤에 스크린을 치우고 눈으로 직접 관찰하시오. 관찰 결과의 특징적인 점을 그리시오.



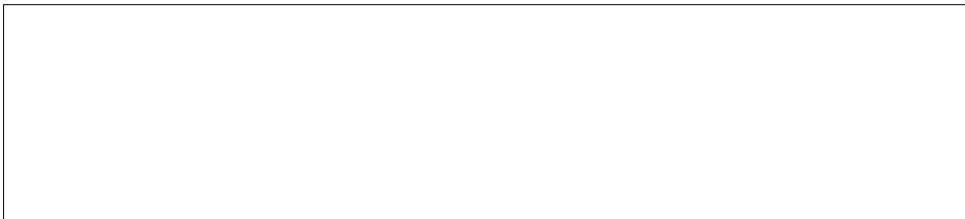
(3) 위의 실험 결과를 이용하여 앞에서 본 달무리 현상과 연관지어 설명해 보시오.



<코로나 실험>

(1) 실험 장소를 어둡게 하고, 점광원(LED or 촛불)을 설치한 후, 관찰 위치로부터 약 1m이상 떨어뜨려 놓자.

(2) Graphic Art film에 인쇄된 Mask를 가지고, 점광원을 관찰해 보고, 관찰한 무늬를 아래에 그려서 특징을 설명하시오. 참고로 Mask에는 미세한 원형 점이 인쇄되어 있다.



(3) Mask의 점의 크기를 바꿔가면서 점광원을 관찰해보고, 점의 크기에 따라 관찰되는 무늬에 어떠한 변화가 생기는지 설명해 보시오.



(4) 위의 실험 결과를 코로나 현상과 연관지어 설명해 보시오.



<부록4> 연구2 사후 검사지

<정리 및 논의>

1. 다음 두 사진은 하나는 달무리, 다른 하나는 코로나 사진이다. 각각의 현상을 설명해 보시오.(색이 분해되는 원리를 포함시키고, 두 현상을 구분 짓는 특징을 광학적 원리를 이용하여 설명해 보시오.)



(A)



(B)

(A)	(B)
-----	-----

2. 오늘 활동을 통해 새로이 알게 된 내용, 어려웠던 내용이나, 아직 이해가 되지 않는 부분을 적어주세요.

[새로 알게 된 내용]
[어려운 내용]
[이해되지 않는 내용]